

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Comportamento químico e mecânico de rejeitos de mineração de
zinco sob baixas a altas tensões efetivas

Luciana Prado Leite Praça

Porto Alegre
2019

LUCIANA PRADO LEITE PRAÇA

**COMPORTAMENTO QUÍMICO E MECÂNICO DE
REJEITOS DE MINERAÇÃO DE ZINCO SOB BAIXAS A
ALTAS TENSÕES EFETIVAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia.

Porto Alegre
2019

CIP - Catalogação na Publicação

PRACA, Luciana Prado Leite
Comportamento químico e mecânico de rejeitos de
mineração de zinco sob baixas a altas tensões efetivas
/ Luciana Prado Leite PRACA. -- 2019.
269 f.
Orientador: Lucas Festugato.

Coorientador: Fernando Schnaid.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre,
BR-RS, 2019.

1. Geotecnia. 2. Rejeitos de mineração. 3. triaxial
CIU. 4. Altas tensões efetivas. 5. Estado crítico. I.
Festugato, Lucas, orient. II. Schnaid, Fernando,
coorient. III. Título.

LUCIANA PRADO LEITE PRACA

**COMPORTAMENTO QUÍMICO E MECÂNICO DE
REJEITOS DE MINERAÇÃO DE ZINCO SOB BAIXAS A
ALTAS TENSÕES EFETIVAS**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Concentração (Geotecnia), e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 29 de abril de 2019

Prof. Lucas Festugato
Dr. Eng. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul
Orientador

Prof. Fernando Schnaid
Ph. D. pela University of Oxford, UK
Coorientador

Prof. Nilo Cesar Consoli
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Karla Salvagni Heineck
Dr. Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Edgar Odebrecht
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Pedro Domingos Marques Prietto
Dr. Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Sérgio Filipe Veloso Marques
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Aos meus queridos pais,
Alencar e Roseli.

AGRADECIMENTOS

Ao final dessa etapa, tenho muito o que agradecer a muitos que de diversas formas me ajudaram a avançar, a suportar os momentos de dúvida e de saudades de casa e a crescer como pessoa e profissional.

Agradeço aos meus orientadores Lucas Festugato e Fernando Schnaid pela confiança, motivação e troca de conhecimento durante o desenvolvimento dessa dissertação. Obrigado por me trazerem novas oportunidades de me desenvolver.

Aos amigos que ganhei durante o mestrado no LEGG, que me ajudaram muito no desenvolvimento da pesquisa e a deixar um pouco mais leve o dia-a-dia puxado dentro do laboratório. Em especial à Helena Nierwinski, Mozara, Marina, Vini, Gonça, Bruna e Dani.

E como não agradecer à Bruna Hoch e Sérgio Marques, meus fiéis ajudantes do Triaxial. À Bruna, pela amizade e imensa disposição em me ajudar. Ao Sérgio, por todo o conhecimento compartilhado, pela paciência incondicional e pela imensa ajuda diária.

Agradeço ao universo todos os dias pelos meus pais Alencar e Roseli, minha base de apoio, de princípios e de amor. Se não fosse por vocês, eu nada seria. Às minhas irmãs, Aline e Marcela, pela amizade, palavras de conforto, pelos conselhos e enorme acolhimento.

Minhas tias, tios, primas e primos, tão queridos, obrigado pelas boas recepções em Divinópolis, por compartilharmos sentimentos puros de sangue e por manter nossa família unida mesmo com tantas dificuldades nesse último ano que passou. Agradeço pelo amor que sempre recebi da minha madrinha Eliana, que agora me protege lá de cima e, pela presença que sinto no peito da minha vó Nadir, meu maior exemplo de doação, de amor incondicional e meu eterno porto seguro.

Agradeço imensamente ao meu namorado Matheus que compartilhou comigo cada angústia, cada perda e cada alegria, presente nos melhores e piores momentos durante esses últimos 2 anos. Grata por fazer parte da minha vida!

Aos amigos que tenho de vida, por compreenderem minha distância e me motivarem a seguir sempre em frente. Reencontrar vocês é renovar minhas boas energias.

Agradeço, por fim, à uma força maior que me acorda todo dia com uma enorme motivação de correr atrás dos meus sonhos. Que venham novos desafios e conquistas.

A busca pelo conhecimento engrandece e alimenta a alma.

RESUMO

PRACA, L. P. L. **Comportamento químico e mecânico de rejeitos de mineração de zinco sob baixas a altas tensões efetivas.** 2019. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A Engenharia Geotécnica ainda apresenta pouco entendimento e pesquisas envolvendo as propriedades dos rejeitos de mineração após dispostos em barragens e confinados sob diferentes tensões. Apesar da tendência em construir reservatórios cada vez maiores, ainda não existem pesquisas sobre o comportamento da maioria dos rejeitos submetidos à altas tensões efetivas, o que aumenta as incertezas e riscos de projeto. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal caracterizar e avaliar o comportamento geomecânico do rejeito de mineração de zinco a partir de ensaios de laboratório. O material estudado é proveniente da Barragem dos Peixes situada nas dependências do complexo industrial da Votorantim Metais Zinco, em Juiz de Fora – MG. Foram realizados ensaios de caracterização física como granulometria por sedimentação, limites de Atterberg e densidade real dos grãos; ensaios de caracterização química de microscopia eletrônica e elementar (FRX e DRX) e; ensaios de caracterização geomecânica triaxiais CIU com tensões efetivas variando de 20 a 4000 kPa e até níveis de deformação axial maiores que 20%, a fim de caracterizar o estado crítico do material. O rejeito de mineração de zinco foi caracterizado como um material com granulometria variando entre areia siltosa a silte arenosa com alta compressibilidade, constituído essencialmente por compostos de enxofre (S). Com o aumento do nível de tensões efetivas nos ensaios CIU, o material apresentou variação do parâmetro de resistência de pico de $30^\circ \leq \phi' \leq 38,7^\circ$ e variação do seu comportamento entre contrátil e dilatante dependendo do índice de vazios inicial da amostra. Observou-se quebra da fraca cimentação inicial e quebra de partículas da matriz arenosa com o aumento dos níveis de tensões. Foram plotadas curvas de tendência das linhas de consolidação isotrópica (LCI) e do estado crítico (LEC), paralelas para tensões acima de 400 kPa.

Palavras-chave: *Rejeitos de mineração; triaxiais CIU; altas tensões efetivas; estado crítico; quebra de grãos; linha de consolidação isotrópica; linha do estado crítico.*

ABSTRACT

PRAÇA, L. P. L. **Chemical and mechanical behaviour of zinc tailings from low to high effective stresses.** 2019. M. Sc. Dissertation – Department of Civil Engineering, UFRGS, Porto Alegre.

Geotechnical Engineering still presents little understanding and research involving the properties of mining tailings after being laid in dams and confined under different stresses levels. Despite the tendency to build larger reservoirs (ROBERTSON, 2011), there is still no research on the behavior of most tailings subjected to high effective stresses, which increases project uncertainties and risks. In this context, the main objective of this work is to characterize and evaluate the geomechanical behavior of the zinc mining tailings by laboratory tests. The material studied comes from the “Barragem dos Peixes” located in the industrial complex of Votorantim Metais Zinco, in Juiz de Fora - MG. Physical characterization tests were carried out as granulometry by sedimentation, Atterberg limits and real grain density; besides of chemical characterization tests of elemental and electronic microscopy (FRX and XRD). In order to characterize the critical state of the material, CIU triaxial tests were carried out with effective stresses varying from 20 to 4000 kPa even axial deformation levels greater than 20%. Zinc mining tailings were characterized as a material with particle size ranging from silt sand to sand silt, high compressible, consisting essentially of sulfur (S) compounds. With the increase of the effective stress level in the CIU tests, the material presented variation of the shear resistance parameter of $30^\circ \leq \phi' \leq 38,7^\circ$ and variation of its contractive and dilatant behavior depending on the sample initial void index. Weak initial cementation breakdown and sandy matrix particle breakdown were observed with increasing stress levels. The isotropic consolidation line (ICL) and the critical state line (CSL) were estimated by results and they became parallel for effective stresses above 400 kPa.

Keywords: *Mining tailings; CIU triaxial test; high effective stresses; critical state; particle breakage; isotropic consolidation line; critical state line.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1. PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	20
1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA.....	22
1.2.1. Objetivo Geral	22
1.2.2. Objetivos específicos	22
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1. ENGENHARIA DA MINERAÇÃO.....	24
2.1.1. Método de descarte dos rejeitos.....	25
2.1.2. Alçamento pelo método de montante	27
2.1.3. Alçamento pelo método de jusante.....	28
2.1.4. Alçamento pelo método de linha de centro	29
2.2. ASPECTOS GERAIS DOS REJEITOS DE MINERAÇÃO.....	30
2.2.1. Rejeito de mineração de zinco	31
2.2.1.1. Processo de produção.....	31
2.2.1.2. Composição elementar – mineralógica.....	35
2.3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA.....	37
2.3.1. Características físicas.....	38
2.3.1.1. Análise granulométrica	38
2.3.1.2. Massa específica dos grãos	41

2.3.1.3. Limites de Atterberg	42
2.4. PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA	43
2.5. TEORIA DO ESTADO CRÍTICO	46
2.5.1. Estado Crítico em areias	52
2.5.2. A não-linearidade da linha do estado crítico no espaço e : $\ln(p')$	53
2.5.2.1. LEC para solos transicionais	54
2.5.2.2. Quebra de grãos em solos granulares e transicionais sob altas tensões	57
2.6. COMENTÁRIOS FINAIS	64
3. MATERIAIS, MÉTODOS E PROGRAMA EXPERIMENTAL	65
3.1. MATERIAIS	65
3.1.1. Rejeito de mineração de zinco	65
3.2. ENSAIOS DE LABORATÓRIO	68
3.2.1. Ensaio de Caracterização Física	69
3.2.1.1. Preparação das amostras	69
3.2.1.2. Granulometria por peneiramento e sedimentação	69
3.2.1.3. Limites de Atterberg (LL, LP e IP)	69
3.2.1.4. Massa Específica dos Grãos (Gs)	70
3.2.2. Análise Microestrutural	70
3.2.2.1. Difractometria de Raios X (DRX)	70
3.2.2.2. Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX)	70
3.2.3. Caracterização Geomecânica	71

3.2.3.1. Preparação dos corpos de prova.....	71
3.2.3.2. Triaxial Geonor.....	75
3.2.3.3. Triaxial de Altas Tensões (TriAP).....	77
3.3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	80
4. RESULTADOS E ANÁLISE DO REJEITO DE ZINCO.....	81
4.1. CARACTERIZAÇÃO BÁSICA.....	81
4.1.1. Granulometria por sedimentação.....	81
4.1.2. Limites de Atterberg.....	83
4.1.3. Massa específica dos grãos.....	85
4.2. MICROSCOPIA ELETRÔNICA E ELEMENTAR.....	85
4.2.1. Ensaio de Fluorescência (FRX).....	85
4.2.2. Ensaio de Difratometria (DRX).....	86
4.3. ENSAIOS TRIAXIAIS CIU.....	88
4.3.1. Linhas de Consolidação Isotrópica.....	89
4.3.2. Comportamento tensão-deformação.....	91
4.3.2.1. Curvas tensão-deformação e poro pressões.....	92
4.3.2.2. Normalização das curvas tensão-deformação.....	94
4.3.3. Trajetória de tensões.....	96
4.3.4. Linha do estado crítico.....	104
4.3.5. Análise de quebra de grãos.....	106
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110

5.1. RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	110
5.2. CONCLUSÕES	112
5.3. SUGESTÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS	114
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
7. ANEXOS	121
7.1. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 20 kPa.....	121
7.2. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 60 kPa.....	133
7.3. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 75kPa.....	148
7.4. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 275kPa.....	167
7.5. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 330 kPa.....	181
7.6. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 1000 kPa com descarregamento..	195
7.7. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 1000 kPa sem descarregamento ..	203
7.8. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 2250 kPa.....	209
7.9. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 1000 kPa com novo pistão	215
7.10. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 2500 kPa com novo pistão	248
7.11. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 4000 kPa com novo pistão	259

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Ciclo total de lançamento de rejeitos em superfície.	26
Figura 2.2: Alçamento para montante	27
Figura 2.3: Alçamento de jusante.....	28
Figura 2.4: Alçamento por linha de centro.....	29
Figura 2.5: Fluxograma esquemático para produção de zinco seguindo a rota RLE.	32
Figura 2.6: Processos de geração de rejeito de zinco.	35
Figura 2.7: Difratoograma de rejeito de minério de zinco. (A) SiO ₂ ; (B) ZnSO ₄ .6H ₂ O; (C) ZnO; (D) Al ₂ S ₃ ; (E) SiS ₃ ; (F) Zn ₄ Al ₂₂ O ₃₃ ; (H) Fe ₃ Si.	36
Figura 2.8: Curvas granulométricas de rejeitos (lama vermelha).....	39
Figura 2.9: Curvas granulométricas características do rejeito de mineração de zinco.....	40
Figura 2.10: Linha Isotrópica de Compressão e de descarregamento.	48
Figura 2.11: Linha do Estado Crítico.	49
Figura 2.12: (a) Representação da envoltória de pico e (b) da Superfície Limite de Estado. ..	50
Figura 2.13: (a) Parâmetros para normalização; (b) superfície limite de estado no plano normalizado $p'/p'e : q/p'e$	51
Figura 2.14: LEC não linear no espaço e : $\ln(p')$	54
Figura 2.15: Comportamento da LCI em areias e em solos transicionais.	55
Figura 2.16: LCI e LEC em solos transicionais. (a) areia com finos plásticos. (b) areia com finos não-plásticos.	57
Figura 2.17: LEC em areias limpas e com presença de finos.....	59
Figura 2.18: Granulometria antes e após o ensaio oedométrico. (a) mistura areia-argila. (b) mistura areia-silte.	60

Figura 2.19: Definição de quebra relativa, Br	61
Figura 2.20: Análise de quebra de grãos para solos arenosos em diferentes condições.....	63
Figura 3.1: Barragem dos Peixes Votorantim Metais e Zinco - Juiz de Fora - MG.....	66
Figura 3.2: Locação dos furos de extração de amostras nas profundidades de 1 a 12m.	66
Figura 3.3: Caminho executado para acesso a Estação PZC01	67
Figura 3.4: Variação do peso específico do rejeito de zinco	68
Figura 3.5: Rejeito de zinco seco e destorroado	69
Figura 3.6: Etapas de moldagem do CP de zinco	74
Figura 3.7: Retirada no molde após o CP já acoplado ao equipamento	74
Figura 3.8: Equipamento triaxial da marca Geonor do Laboratório de Engenharia Geotécnica e Geo-ambiental (LEEG).....	76
Figura 3.9: Sistema aplicador de tensões do Geonor.....	76
Figura 3.10: (a e b) Equipamento TriAp - LEGG/UFRGS. (c) GDSs do TriAp.....	78
Figura 3.11: Calibração dos sensores de efeito Hall (a e b) e LVDT (c)	79
Figura 4.1: Faixa granulométrica da amostra de rejeito de zinco.....	82
Figura 4.2: Curva para determinação do Limite de Liquidez do rejeito de zinco.	84
Figura 4.3: Ensaio Difratométrico do rejeito de zinco.	88
Figura 4.4: LCI para todos os ensaios e tendência da LCI para tensões efetivas finais maiores que 100 kPa.	90
Figura 4.5: Prolongamento da LCI para determinação de N.....	91
Figura 4.6: a) Tensão-deformação e poro pressões. b) Escala aumentada para $p_0' < 400$ kPa. .	93
Figura 4.7: Curvas tensão-deformação e poro pressões normalizadas.....	95

Figura 4.8: Variação do parâmetro M para diferentes p'_{ult}	95
Figura 4.9: Corpos de prova cisalhados. (a) 1000 kPa (b) 2500 kPa (c) 4000 kPa.....	96
Figura 4.10: Trajetória de tensões máximas (a) $p_0' > 1000$ kPa. (b) $p_0' < 1000$ kPa.....	98
Figura 4.11: Trajetória de tensões para as amostras com p_0' em torno de 1000 kPa.....	100
Figura 4.12: Trajetória de tensões limite (a) $p_0' > 1000$ kPa. (b) $p_0' < 1000$ kPa.....	103
Figura 4.13: Trajetórias de cisalhamento e tendência da LEC.....	104
Figura 4.14: Prolongamento da LEC para determinação de Γ	105
Figura 4.15: Granulometria do rejeito de zinco natural e cisalhado a 1000, 2500 e 4000 kPa.	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Principais minerais de zinco.....	31
Tabela 2-2: Composição mineralógica de uma amostra bruta de rejeito de zinco.....	36
Tabela 2-3: Composição química do rejeito de zinco.	37
Tabela 2-4: Valores de massa específica dos grãos de rejeitos.	41
Tabela 2-5: Índices de consistência obtidos para alguns rejeitos.	42
Tabela 2-6: Parâmetros de resistência de alguns rejeitos de mineração.....	46
Tabela 3-1: Programa Experimental.....	80
Tabela 4-1: Ensaio de Fluorescência do rejeito de zinco	86
Tabela 4-2: Resumo dos ensaios triaxiais realizados com rejeito de zinco.....	89
Tabela 4-3: Comportamento das amostras após atingir trajetória de pico	100
Tabela 4-4: Diâmetros representativos do rejeito de zinco natural e cisalhado a 1000, 2500 e 4000 kPa	109

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ρ	Massa específica
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
IP	Índice de plasticidade
φ'	Ângulo de atrito efetivo
c'	Intercepto coesivo efetivo
$\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$	Tensões Efetivas Principais
q	Tensão desvio
p'	Tensão efetiva média
e	Índice de vazios
e_i	Índice de vazios inicial
e_c	Índice de vazios crítico
v	Volume específico
u	Porosidade
Δu	Incremento de porosidade
N	Volume específico ou intercepto da LCI para $p'=1$ kPa no plano $v : \ln p'$
λ	gradiente da Linha de consolidação isotrópica
Γ	Volume específico ou intercepto da LEC para $p'=1$ kPa no plano $v : \ln p'$
LCI	Linha de consolidação isotrópica
LEC	Linha do estado crítico

M	gradiente a linha do estado crítico no plano $p' : q$
p'_e	tensão equivalente
p'_c	tensão crítica
ε_a	Deformação Axial
Br	índice de quebra relativa
Bt	quebra total de partículas
Bp	potencial de quebra de partículas
Gs	Massa específica dos grãos
D10	Diâmetro médio passando na peneira ASTM 10
D30	Diâmetro médio passando na peneira ASTM 30
D50	Diâmetro médio passando na peneira ASTM 50
D60	Diâmetro médio passando na peneira ASTM 60
D90	Diâmetro médio passando na peneira ASTM 90
$P_{p200} (\%)$	Porcentagem passante na peneira 200
LACER	Laboratório de materiais cerâmicos
IGEO	Instituto de Geociências
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IPEA	Instituto de Pesquisa Aplicada

LEGG Laboratório de Engenharia Geotécnica e Geoambiental

NBR Norma Brasileira

PPGEC Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A indústria de mineração consiste em um dos principais setores da economia brasileira, representando 4,2% de todo o PIB do Brasil e 16,9% do PIB Industrial brasileiro, com produção total estimada de US\$ 32 bilhões em 2017, segundo o IBRAM (2018). O país se configura como o 3º maior exportador mundial de minério de ferro e de bauxita. Em 2017, foram gerados mais de 2 bilhões de toneladas do minério, incluindo mais de 240 mil toneladas de zinco concentrado, correspondendo a cerca de 2% da produção mundial. Entretanto, apesar da grande importância do setor de mineração para a economia do país, não se pode omitir o impacto que as atividades mineradoras exercem sobre o meio ambiente, tanto nas atividades de extração, transporte e beneficiamento, como, sobretudo, na disposição final dos rejeitos gerados pelas mineradoras durante todo o processo.

O método de disposição de rejeitos de mineração mais comumente utilizado é o de despejo em reservatórios hidráulicos criados por diques de contenção ou barragens. De acordo o IPEA (2012), a produção anual de rejeitos de mineração no Brasil aumentou de 202 milhões de toneladas no ano de 1996 para 290 milhões de toneladas em 2005. Conseqüentemente, são construídas barragens extensas que passam por sucessivos processos de alteamento a fim de aumentar o volume de rejeito armazenado na mesma área.

Essas obras de grande porte envolvem elevado impacto e potencial de dano em casos de ruptura. Como ocorrido recentemente em Brumadinho (Minas Gerais, Brasil), onde a barragem do Fundão se rompeu e a lama de rejeito arrastou centenas de árvores e casas da cidade e região entorno. Foram cerca de 250 mortos e mais de 50 desaparecidos, entre funcionários e população em geral. Além do desastre social, o volume de lama ao atingir os mananciais entorno, causa grande impacto ambiental, poluindo e assoreamento rios e devastando a fauna e flora das regiões ribeirinhas. A ruptura de Brumadinho, apesar dos danos irrecuperáveis, foi o gatilho para novas políticas públicas de segurança de barragem, proibição dos métodos de alteamento a montante e maior fiscalização em tantas outras barragens com potencial de ruptura.

A Lei Federal 12.334, sancionada em 20 de setembro de 2010, estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a qual exige a elaboração do Plano de Segurança de Barragem contendo, entre outros critérios, dados técnicos do empreendimento e um Plano de Ações Emergenciais (PAE). De acordo com o Cadastro de Barragens do Minérios do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a barragem do Fundão era classificada como categoria de baixo risco e alto dano potencial associado.

Dentre o meio técnico, os casos de ruptura de barragens de rejeito aumentam a preocupação e necessidade dos geotécnicos em entender o comportamento do rejeito em condições adversas, seja drenado, saturado, liquefeito e submetidos a grandes tensões efetivas, por exemplo. A compreensão do comportamento de rejeitos depositados em reservatórios é fundamental tanto para a etapa de projeto, como na execução e controle de barragens.

Entretanto, a Engenharia Geotécnica ainda apresenta pouco entendimento e pesquisas quanto às propriedades desses materiais e seus comportamentos após dispostos em diques e confinados sob diferentes estados de tensão. Segundo Robertson (2011), a altura máxima das barragens nos anos 2000 era de 240 m seguindo uma tendência de duplicar de valor a cada 30 anos. Em 2016, barragens com altura de 340 m estavam em construção e em projeto, nas quais o rejeito armazenado será confinado sob tensões de mais de 2000 kPa. Todavia, mais uma vez, são raras as pesquisas sobre o comportamento de rejeitos de mineração submetidos à altas tensões efetivas, o que aumenta as incertezas e riscos de projeto (ÁVILA, 2016).

Dessa forma, a atual pesquisa visa responder algumas questões desconhecidas sobre os rejeitos de mineração de zinco: É possível classificar o rejeito de zinco como um solo natural? Como esses materiais se comportam sob tensões efetivas maiores que 1000 kPa? Quais são seus parâmetros de resistência? É possível traçar uma única linha de consolidação isotrópica (LCI) e linha do estado crítico (LEC) para o rejeito de zinco? E, esses materiais apresentam quebra de grãos com o aumento das tensões efetivas?

1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal caracterizar e avaliar o comportamento geomecânico dos rejeitos de mineração de zinco a partir de ensaios de laboratório de caracterização físico-química e ensaios triaxiais não drenados sob tensões efetivas de até 4000 kPa.

1.2.2. Objetivos específicos

A partir do objetivo geral, seguem os seguintes objetivos específicos da dissertação:

- Analisar as características físico-químicas de rejeitos de mineração de zinco a partir de ensaios de granulometria, limites de consistência, densidade real dos grãos, difratometria de raios X (DRX) e Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX);
- Avaliar o comportamento desses rejeitos cisalhados em diferentes tensões efetivas;
- Analisar a evolução dos parâmetros de resistência com o aumento da tensão efetiva e cisalhados até altos níveis de deformação (>20%);
- Analisar a Linha de Compressão Isotrópica (LCI) e a Linha do estado crítico (LEC) do rejeito de mineração de zinco;
- Analisar se houve quebra de grãos após ensaios triaxiais sob altas tensões através de ensaios de sedimentação com o material não ensaiado e após cisalhamento a 1000, 2500 e 4000 kPa.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A dissertação em questão é composta por seis capítulos. Inicialmente, este primeiro capítulo aborda a introdução ao tema, a justificativa do estudo, os objetivos que se pretende alcançar ao longo da dissertação e como esta foi estruturada.

O capítulo seguinte apresenta a revisão bibliográfica, responsável pela base teórica e fundamentação de conceitos e critérios fundamentais para o entendimento e andamento da

pesquisa. São abordados conceitos relacionados aos rejeitos de mineração e disposição em barragens, além de uma revisão sobre a Teoria do Estado Crítico, efeito da presença de finos na mistura e quebra de grãos sob altas tensões de confinamento.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia de pesquisa, no qual é discutido as características das amostras coletadas de rejeito de mineração de zinco, os ensaios realizados em laboratório e o programa experimental proposto.

Já o quarto capítulo deste trabalho engloba os resultados obtidos na pesquisa. Neste capítulo são expostos os resultados dos ensaios de laboratório de caracterização físico-química e o comportamento geomecânico do rejeito de zinco sob baixas e altas tensões de confinamento. Também se analisa a evolução do parâmetro M de Estado Crítico com o aumento da tensão efetiva de consolidação, LCI e LEC, além de apresentar resultados e discutir a ocorrência de quebra de grãos nos ensaios de altas tensões.

O Capítulo 5, por sua vez, apresenta as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros. Por fim, o capítulo 6 apresenta as referências bibliográficas citadas ao longo do texto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica tem como objetivo apresentar um levantamento de estudos e informações referentes à caracterização de rejeitos de mineração, incluindo processos de beneficiamento do minério, composição físico-química e comportamento geomecânico. Em seguida, serão abordados temas como teoria do estado crítico, comportamento de solos transicionais e efeito de quebra de grãos em solos submetidos à altas tensões de confinamento.

2.1. ENGENHARIA DA MINERAÇÃO

A indústria de mineração corresponde a um dos principais setores da economia brasileira. Segundo o IBRAM (2017), em 2016 a mineração representou 4,3% de todo PIB Brasil e 16,9% do PIB industrial brasileiro, com produção total estimada de US\$ 24 bilhões. No mesmo ano, a indústria mineral empregou cerca de 185 mil trabalhadores diretamente e, segundo o DNPM (2008), sendo o fator multiplicador para a indústria extrativa com a indústria de transformação mineral igual a 1 para 3,6 postos de trabalhos, ao final de 2016 este setor empregava indiretamente 663 mil trabalhadores.

Segundo dados do IBRAM (2015), o Brasil produz mais de 90 substâncias minerais em escala industrial, sendo o maior produtor de minério de ferro do mundo e o 2º maior produtor de bauxita. Em 2015, foram gerados 32 milhões de toneladas do minério, o que corresponde a 13% da produção mundial. Em relação ao zinco concentrado, o minério corresponde a 7ª maior produção do Brasil, foram produzidas 250 mil toneladas no ano de 2015, correspondendo a 2% da produção mundial.

Em contrapartida, apesar da grande importância do setor de mineração para a economia do país, não se pode omitir o impacto que as atividades mineradoras exercem sobre o meio ambiente, tanto nas atividades de extração, transporte e beneficiamento, como, sobretudo, na disposição final dos rejeitos que a indústria mineradora gera durante todo o processo. O método de disposição mais comumente utilizado é o de despejo em reservatórios criados por diques de contenção ou barragens, que podem ser construídas por solo natural ou com os próprios rejeitos, sendo classificados, neste caso, como barragens de contenção alteadas com rejeitos e as de solo

natural são nomeadas como barragens convencionais. Nesse sistema de deposição, muitos rejeitos são transportados como polpa, em estado aquoso, por gravidade em aquedutos, em uma concentração de 10% a 25% de sólidos.

Segundo Davies & Martin (2000), devido ao grande volume de rejeitos gerado e aos elevados custos da disposição, a utilização desses materiais na construção das próprias barragens de contenção torna-se atrativa, desde que sejam consideradas alguns critérios, tais como:

- i) separação da fração grossa e fina, uma vez que as propriedades geotécnicas são diferentes entre as frações;
- ii) controle dos processos de separação por granulometria;
- iii) implantação de sistemas de drenagem eficientes, compactação dos rejeitos (aumento da densidade e da resistência);
- iv) e proteção superficial da barragem afim de evitar carreamento de material e proteção do talude, dentre outras.

2.1.1. Método de descarte dos rejeitos

Os rejeitos podem ser descartados em superfície (e.g. barragens ou diques), em cavidades subterrâneas, ou em ambientes subaquáticos, por via úmida em forma de lama ou via seca na forma sólida. O descarte em consistência de lama é feito através de tubulações, por bombeamento ou, na maioria das vezes, por força da gravidade. Já o descarte dos rejeitos na forma sólida conta com o auxílio de correias transportadoras ou caminhões (SILVA, 2008). Devido à praticidade e os menores custos envolvidos no transporte de rejeitos por via hidráulica, tem-se buscado favorecer o descarte por via úmida (PEREIRA, 2005).

Segundo Chammas (1989, apud Mendes, 2007), os rejeitos lançados por via aquosa passam por três estágios principais de comportamento a partir de seu lançamento na barragem:

- i) Líquido sobrenadante, com início da floculação das partículas menores;
- ii) durante o processo de sedimentação, com comportamento semi-líquido e semi-viscoso;
- iii) durante processo de adensamento, comportando similar a um solo natural.

Adicionalmente, Villar (2002) mapeou os estágios pelos quais os rejeitos em forma de lama passam desde o despejo nas barragens, como apresentado na Figura 2.1.

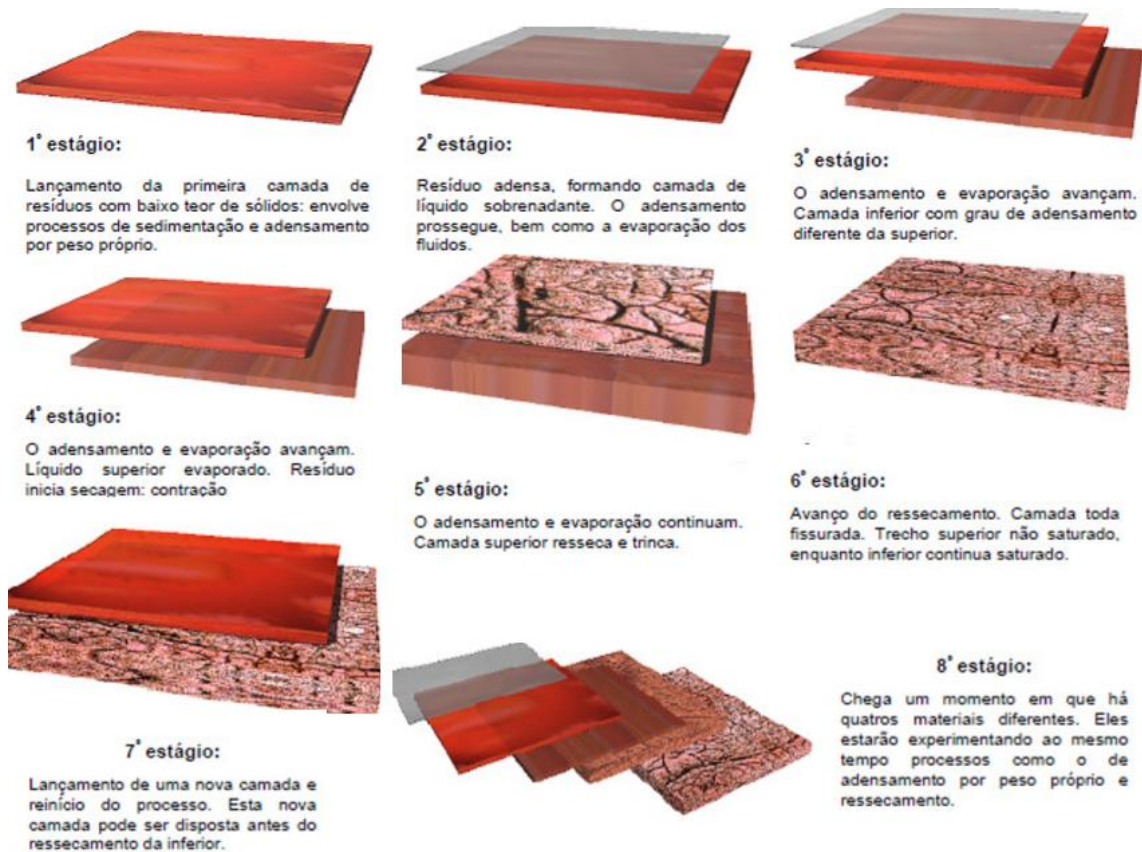


Figura 2.1: Ciclo total de lançamento de rejeitos em superfície.

Fonte: Adaptado de Villar, 2002.

Segundo o IBRAM (2015), a construção das barragens de contenção de rejeitos é feita ao longo do tempo para diluir os custos no processo de extração mineral, por meio de alteamentos sucessivos. Assim, é construído um dique de partida e, ao longo da vida útil da barragem, são feitos alteamentos sucessivos através de três métodos:

- i) Montante;
- ii) Jusante ou;
- iii) Linha de centro.

2.1.2. Alteamento pelo método de montante

O método de montante é o método de construção de barragens mais antigo, simples e econômico. É feita a construção de um dique de partida, normalmente constituído de material argiloso ou enrocamento compactado. Em seguida, o rejeito é lançado por canhões em direção a montante da linha de simetria do dique. Como discutido por Martin e McRoberts (2002), na maioria dos casos o rejeito apresenta grande variação em sua granulometria. Logo, por separação hidráulica, a fração grosseira é usada para construir as chamadas praias de rejeito (próximas à barragem) e a fração mais fina compõe as lagoas de rejeitos, conforme o esquema da Figura 2.2. À medida que a cota da crista do dique vai sendo atingida, inicia-se a construção de um alteamento. Nesse processo, a praia de rejeitos é a fundação do novo dique e eventualmente também pode ser o material de construção para o próximo alteamento. Este processo continua sucessivamente até que a cota final prevista em projeto seja atingida (ARAÚJO, 2006).

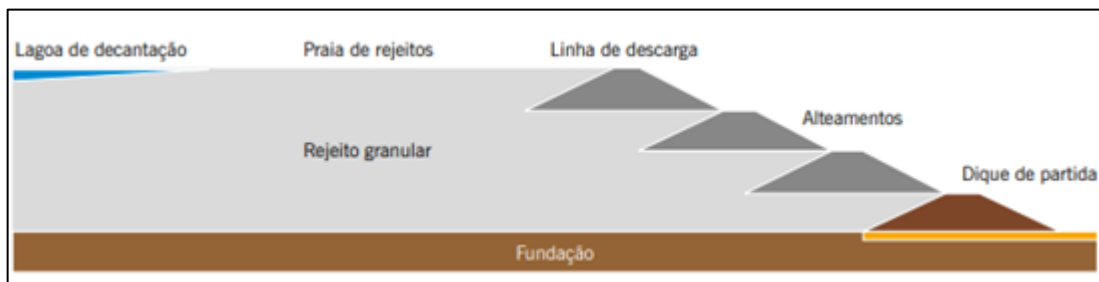


Figura 2.2: Alteamento para montante

Fonte: IBRAM, 2016.

Troncoso (1997) afirma que o método de montante para alteamento de barragens de rejeito é o mais econômico em curto prazo, pois permite obter a menor relação entre volumes de areia/lama. Entretanto, o método de montante apresenta baixo controle construtivo, sendo crítico em relação à segurança. Trata-se do método associado ao maior número de rupturas em barragens de rejeitos em todo o mundo, uma vez que o alteamento é feito sobre materiais granulares previamente depositados e não consolidados sob condição saturada e estado fofo. Dessa forma, esses rejeitos tendem a apresentar baixa resistência ao cisalhamento e alto potencial de liquefação por carregamentos estáticos e dinâmicos (ARAÚJO, 2006).

A fim de reduzir o risco de rupturas em barragens alteadas a montante, deve-se instalar zonas de drenagem horizontal ao longo da construção do dique de partida, o que pode ajudar a manter os níveis de poro pressão baixos. Porém, esses filtros também podem colmatar durante os processos de alteamento, constituindo um problema adicional com reflexos na estabilidade da estrutura.

2.1.3. Alteamento pelo método de jusante

O método de alteamento a jusante foi criado a fim de sanar os riscos envolvidos no alteamento à montante. Da mesma forma que o método abordado anteriormente, a etapa inicial é a construção de um dique de partida, normalmente de solo ou enrocamento compactado. Porém, no método de alteamento a jusante, os seguintes diques são construídos sucessivamente a jusante do dique de partida até que a cota final prevista em projeto seja atingida. A cada novo estágio de alteamento, a linha central do topo da barragem se desloca à jusante, conforme a Figura 2.3.

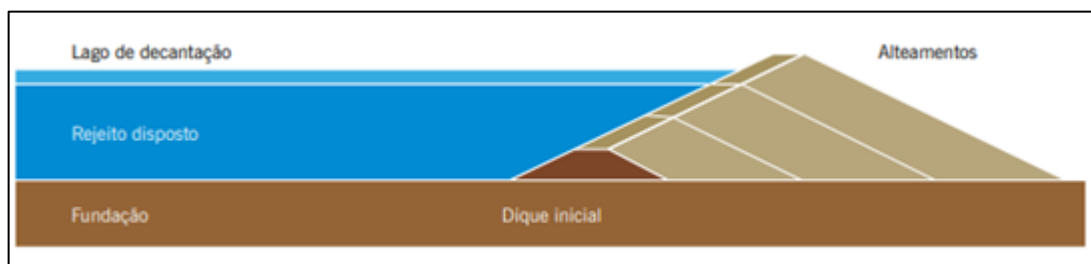


Figura 2.3: Alteamento de jusante.

Fonte: IBRAM, 2016.

Segundo Klohn (1981), o processo de alteamento para jusante envolve vantagens no controle do lançamento e da compactação do material, de acordo com técnicas convencionais de construção; não é construído sobre o rejeito previamente depositado e; pode-se instalar sistemas de drenagem interna durante a construção da barragem e serem prolongados durante o alteamento, o que permite o controle da linha de saturação na estrutura da barragem e aumenta sua estabilidade. Entretanto, barragens alteadas pelo método de jusante necessitam de maiores volumes de material para construção, o que representa maiores custos associados ao processo

de ciclonagem do rejeito ou ao empréstimo de material. Além disso, a área ocupada pelas barragens de rejeito alteadas para jusante é muito maior, devido ao progresso da estrutura em função do acréscimo da altura (ARAÚJO, 2006).

2.1.4. Alteamento pelo método de linha de centro

O método de alteamento de linha de centro trata-se de uma disposição intermediária entre os dois métodos anteriores, visando minimizar as desvantagens de cada um deles (VICK, 1973).

A barragem se inicia com a construção do dique de partida, onde o rejeito é disposto à montante, similar aos processos dos outros dois métodos. Porém, o processo de alteamento é feito pela construção de um dique sobre o dique inicial, mantendo-se a linha de centro da barragem na mesma posição. O dique de alteamento à montante está sobre a praia de rejeitos e à jusante sobre o dique da etapa anterior, conforme esquematizado pela Figura 2.4.

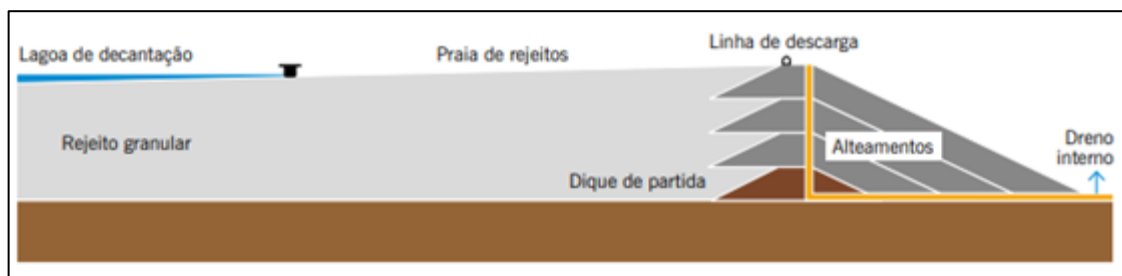


Figura 2.4: Alteamento por linha de centro.

Fonte: IBRAM, 2016.

O comportamento geotécnico do método de linha de centro se assemelha mais às barragens alteadas pelo método da jusante, sendo uma variação deste método. Esse método conta com a vantagem de que é possível a utilização de zonas de drenagem internas em todas as fases de alteamento, possibilitando o controle da linha de saturação e a dissipação de poropressões, o que o torna apropriado, inclusive, na construção de barragens em áreas de alta sismicidade.

Uma vez que este método de alteamento não exige grande extensão da praia de rejeitos e pode-se utilizar rejeitos que contenham quantidades relativamente baixas de partículas do tamanho

de areias, alteamentos por linha de centro são construídos de forma mais rápida do que nos métodos à montante e à jusante (EPA, 1994).

Este método de alteamento também envolve algumas desvantagens como dificuldades executivas e o aumento do custo de execução devido a quantidade de material necessária para os alteamentos. Adicionalmente, Troncoso (1997) aponta a possibilidade de perda de confinamento na parte superior do talude para inclinações muito altas à montante, o que pode levar ao aparecimento de fissuras, causando erosão e aumento de poropressões geradas.

O método apropriado de disposição de rejeitos deve ser selecionado considerando fatores como o tipo de depósito, os processos de beneficiamento do minério, que dependem do tipo de material explorado e, às características do rejeito produzido (VICK, 1983)

2.2. ASPECTOS GERAIS DOS REJEITOS DE MINERAÇÃO

De acordo com Bedin (2010), rejeitos de mineração depositados em barragens seguem uma certa tendência em seus comportamentos, porém, cada um deve ser analisado de forma específica, uma vez que se tratam de materiais heterogêneos, com características físicas, químicas e mineralógicas particulares. Um aspecto relevante da análise desses materiais é o processo de beneficiamento do minério na planta de mineração e tratamento químico-físico para a extração do mineral desejado. Os rejeitos de mineração são resultantes de sucessivos processos, os quais envolvem a adição de produtos químicos e transformações físicas, que influenciam diretamente na composição química, granulometria e teor de água dos rejeitos gerados.

Nesse contexto, os rejeitos devem ser analisados de forma diferente dos solos naturais, uma vez que não há necessariamente uma correlação entre sua granulometria e formação mineralógica, ou seja, não se pode inferir que a presença de finos no rejeito se deve à presença de minerais típicos de fração fina ou argilominerais, podendo se tratar, de fato, de minerais fragmentados ou finamente divididos. Dessa forma, entender os processos pelos quais os rejeitos em estudo foram produzidos, além dos seus métodos de transporte e disposição é fundamental no estudo do comportamento físico-químico e geomecânico dos materiais.

2.2.1. Rejeito de mineração de zinco

O zinco metálico é obtido principalmente a partir do sulfato de zinco (smithsonita), seguido pelo silicato hidratado (calamina) e, finalmente, pelo silicato de zinco (willemita), sendo que no Brasil as reservas conhecidas são de minério willemítico e calamítico, associados a rochas carbonáticas de baixo grau de metamorfização, como apontado por Russo (2007). A Tabela 2-1 apresenta os principais minerais de zinco, sua composição e a concentração de zinco contido.

Tabela 2-1: Principais minerais de zinco.

Material	Composição	% zinco contido
Esfarelita	ZnFeS	67,00
Hemimorfita	Zn ₂ SiO ₄	54,20
Smithsonita	ZnCO ₃	52,00
Hidrozincolita	2ZnO ₃ .3Zn(OH) ₂	56,00
Calamina	2ZnO.SiO ₂ H ₂ O	54,00
Zincita	ZnO	80,30
Willemita	Zn ₂ SiO ₄	58,50
Franklimita	Zn.MnFe ₂ O ₄	15,00 a 20,00

Fonte: Betekhine, 1968 apud Brasil, 2010.

2.2.1.1. Processo de produção

Segundo a DNPM (2008), a produção nacional de zinco se inicia com a realização do desmonte das rochas minerais das minas, com um teor metálico que varia entre 3,6% a 20,0%. Após sucessivas britagens, o minério é moído e em seguida passa pelo processo de flotação e filtragem para a obtenção do concentrado, cujo teor de zinco já alcança 45,0%. A etapa seguinte é a conversão do concentrado pelo processo de lixiviação química (hidrometalurgia), seguida

de deposição eletrolítica, em lingote de metal do tipo SHG (*Special High Grade*) com teor de zinco maior ou igual a 99,99%.

Na metalurgia do zinco, os principais métodos de processamento são a pirometalurgia e a piro-hidro-eletrometalurgia. Esse último, conta com a tecnologia que compreende na utilização de processos de ustulação, lixiviação, e eletrólise, conhecida como RLE (*Roasting, Leaching and Electrolysis*) (Figura 2.5), sendo praticada em 85% das usinas de metalurgia de zinco do mundo (BRASIL, 2010).

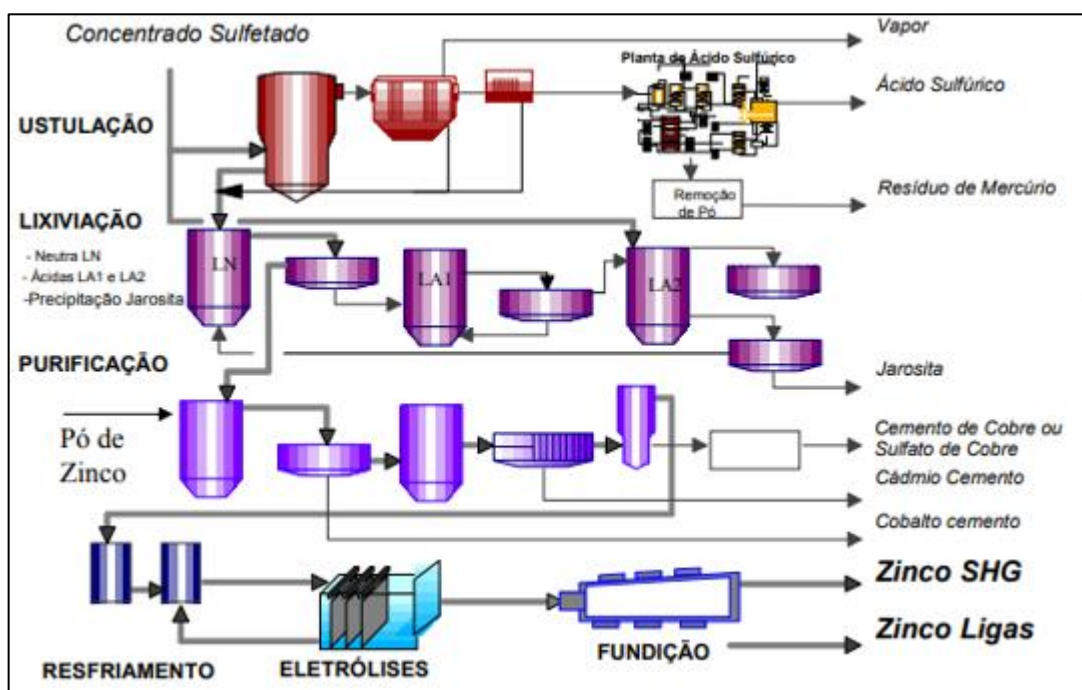
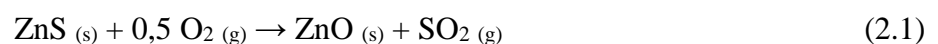


Figura 2.5: Fluxograma esquemático para produção de zinco seguindo a rota RLE.

Fonte: Feijó, 2007.

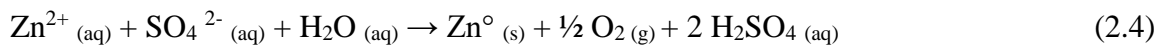
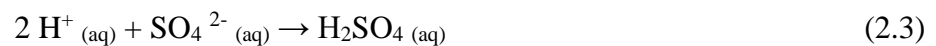
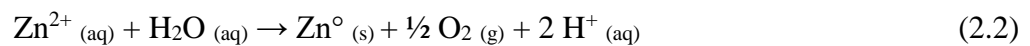
Segundo Souza (2005), em síntese, o processo de conversão do concentrado de zinco consiste em ustular o concentrado de sulfeto de zinco (ZnS) com oxigênio do ar (O_2) em alta temperatura de $900^\circ C$, afim de produzir óxido de zinco (ZnO) e eliminar o dióxido de enxofre, conforme a reação principal (Equação 2.1).



O ustulado é resfriado, moído e direcionado para os setores de lixiviação e o gás SO₂ vai para a torre de conversão para ser convertido em ácido sulfúrico (SO₃), que será utilizado na etapa de lixiviação (SOUZA, 2005). Estas etapas de lixiviação de zinco têm, em geral, eficiências globais da ordem de 95%. O rejeito desta etapa é constituído basicamente de ferrita de zinco (ZnO.Fe₂O₃)

Em seguida, as lixívias produzidas passam por um circuito de purificação, no qual são removidos elementos como o cádmio, cobre, cobalto e níquel. A solução purificada segue para a etapa de eletrólise. As reações principais que ocorrem durante a eletrólise do zinco são as seguintes reações 2.2, 2.3 e 2.4 (SVENS ET AL., 2003).

Reação Global:



Souza (2005) também aponta outros processos de beneficiamento do zinco, denominados “*Forno Imperial Smelting*”, “*Lixiviação Direta Atmosférica*”, “*Lixiviação Sob Pressão*” e “*Zincex Modificado*”, porém, segundo o autor, estes processos resultam em um produto com menor grau de pureza e por isso são pouco utilizados na prática.

Como abordado por Abreu (2009, apud Hlenka, 2012), no circuito silicatado o minério é concentrado via flotação, passando primeiramente pelo estágio de moagem. O concentrado é moído com solução pobre em zinco (30-50 g/l) produzida no setor de filtração, após lavagem dos rejeitos de lixiviação. A polpa resultante é bombeada para o processo de tratamento de magnésio, onde o carbonato de magnésio é solubilizado. Esta etapa é realizada via autoclave que também tem a função de recuperar o zinco residual presente na solução. Parte do zinco precipita sob a forma de sulfato, mantendo o magnésio em solução. O processo se encerra quando a concentração de zinco atingir valores menores ou iguais a 10 g/l. A polpa com teor de magnésio de 1,5% é filtrada e a pasta retida no processo é encaminhada para a lixiviação.

Finalizada a etapa de tratamento de magnésio, filtram-se a polpa e a solução resultantes, que em seguida vão para o tratamento de efluentes juntamente com a solução sobrenadante da

barragem de rejeito. Como esquematizado na Figura 2.6, nessa etapa adiciona-se cal à mistura para neutralizar o pH e propiciar a precipitação do zinco na forma de sulfato básico. Os sólidos ricos em zinco são decantados adicionando-se flocculante recuperando mais de 97% do zinco que retorna ao circuito principal de produção. Parte do efluente segue para o setor de tratamento residual onde adiciona maior quantidade de cal para basificar o pH em 9, e sulfeto de sódio para garantir a remoção de zinco e os metais remanescentes, como cádmio, chumbo e níquel, por decantação e atender as exigências ambientais da Deliberação Normativa do COPAM (1886). A lama gerada neste processo apresenta elevado teor de metais devido à precipitação destes e alto teor de sulfato de cálcio, produto da reação entre o Na_2S e CaO .

O material rejeitado ao final do processo é encaminhado à barragem de rejeitos por via aquosa. De acordo com a Norma Brasileira NBR 10004:2004, este rejeito é enquadrado na classe II A (rejeito não-perigoso e não-inerte). Por fim, estima-se que são produzidos 1700 a 2000m³/dia de rejeitos de zinco com média percentual de sólidos de 5% que são depositados em barragens (ABREU, 2009).

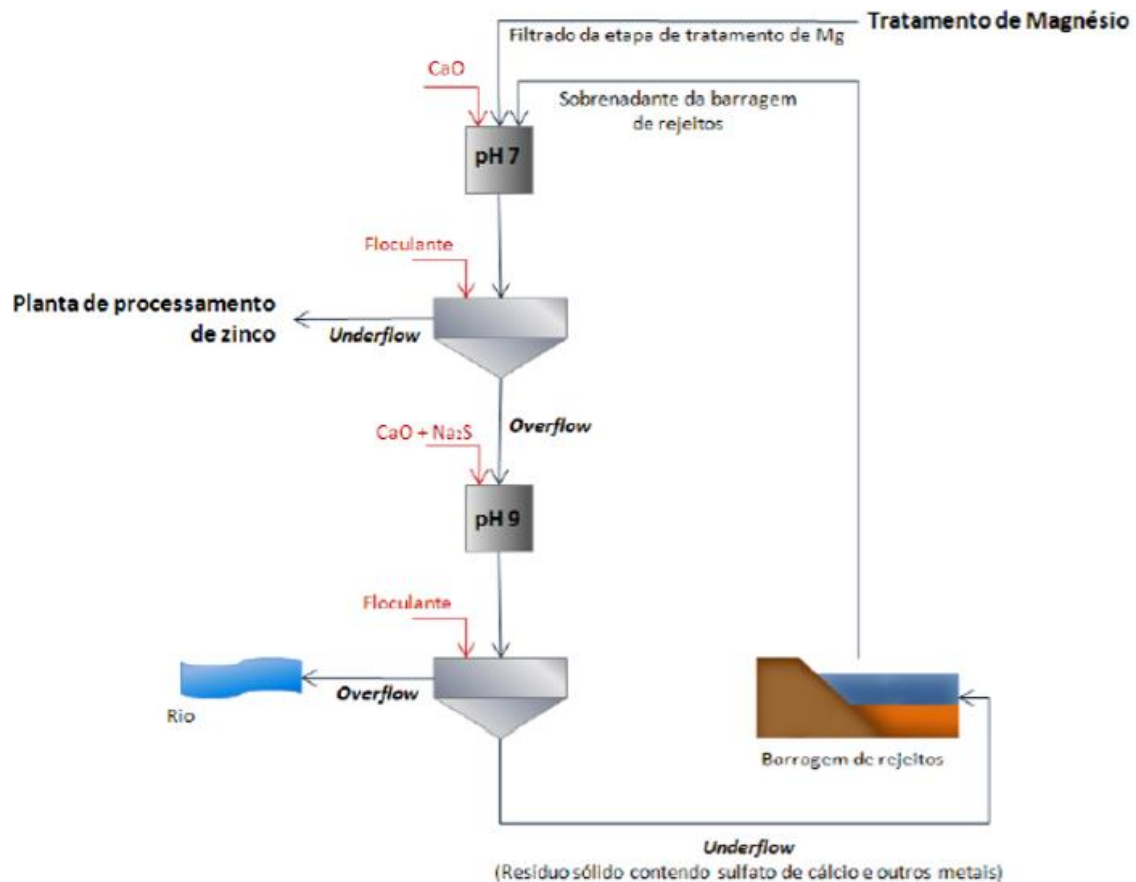


Figura 2.6: Processos de geração de rejeito de zinco.

Fonte: Abreu, 2009.

2.2.1.2. Composição elementar – mineralógica

O zinco não é uma espécie mineralógica pura, em sua composição há principalmente sulfato de zinco, carbonato de zinco e silicato de zinco. Tratando-se por vez dos rejeitos de zinco, Silva (2008) afirma que as características químico-mineralógicas de rejeitos minerais sofrem grandes variações e estão diretamente relacionadas ao processo de beneficiamento, natureza mineral e frente de lavra. Silva (2008) analisou a composição química e mineralógica de uma amostra de rejeito de zinco (Tabela 2-2 e Figura 2.7).

Tabela 2-2: Composição mineralógica de uma amostra bruta de rejeito de zinco.

Parâmetro	Resultado (%)	Parâmetro	Resultado (%)
S total	10,06	Cd	0,001
S sulfato	9,23	Cu	0,001
Umidade	18,0	Ti	0,4
Zn	15,97	P	0,06
Pb	3,00	Mn	0,05
Fe	1,26	Al	3,90
Mg	0,35	K	0,26
Cr	0,03	SiO ₂	10,95

Fonte: Silva, 2008.

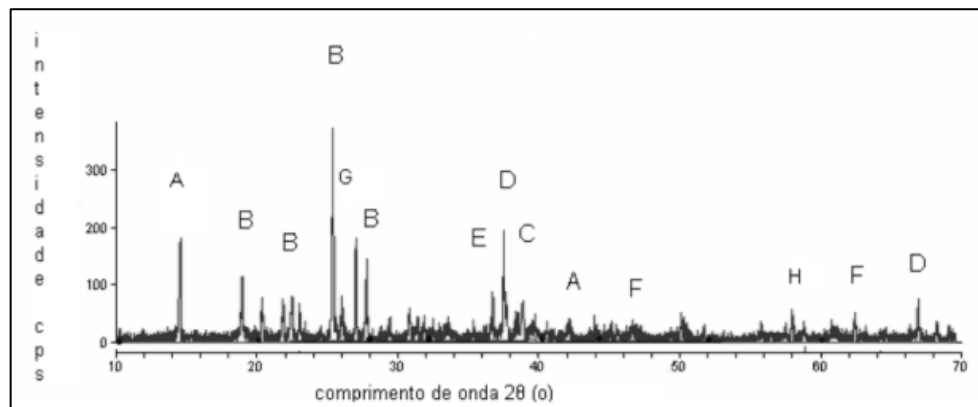


Figura 2.7: Difratograma de rejeito de minério de zinco. (A) SiO₂; (B) ZnSO₄.6H₂O; (C) ZnO; (D) Al₂S₃; (E) SiS₃; (F) Zn₄Al₂₂O₃₃; (H) Fe₃Si.

Fonte: Silva, 2008.

Hlenka (2012) analisou uma amostra de rejeito de zinco proveniente da barragem da Votorantim Metais em Juiz de Fora com composição química apresentada na Tabela 2-3. No presente trabalho, o rejeito em estudo é proveniente da mesma campanha de ensaios de Hlenka (2012). Comparando os dados apresentados por Silva (2008) e Hlenka (2012), nota-se que ambos os rejeitos possuem quantidade significativa de enxofre (S), proveniente do processo de beneficiamento, e uma parcela representativa de zinco residual. Entretanto, a quantidade de cálcio e ferro no rejeito da barragem de Juiz de Fora, correspondem juntos mais de 50% da massa da amostra analisada, enquanto na amostra de Silva (2008) o ferro corresponde apenas a 1,56% e o cálcio não foi encontrado no ensaio. Essa diferença de composição química entre as amostras retifica o fato de que os rejeitos são materiais com características muito variáveis, que dependem da mineralogia da rocha matriz, dos processos de beneficiamento e da forma de disposição.

Tabela 2-3: Composição química do rejeito de zinco.

Químico	Quantidade (%)	Elemento Químico	Quantidade (%)
Mg	0,50	Zn	9,07
Al	0,13	W	1,46
Si	2,66	Co	0,15
S	25,80	Ni	0,13
Ca	24,75	Cd	0,45
Mn	5,06	Mo	0,50
Fe	29,34	TOTAL	100

Fonte: Hlenka, 2012.

2.3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Segundo Bedin (2010), a avaliação do comportamento dos depósitos de rejeitos de mineração apresenta diversas imposições, revelando a necessidade de se desenvolver métodos destinados especificamente à caracterização dos rejeitos de mineração. A forma aquosa de deposição, as

mudanças contínuas nos pontos de descarga, as alterações granulométricas provocadas pela variação do tamanho das partículas do minério lavrado são alguns dos pontos a serem considerados na análise. Outros fatores são a sedimentação em conjunto com o adensamento por peso próprio do material, que culminam em grandes deformações do material. Embora este ambiente complexo de deposição em barragens não possa ser seguramente reproduzido dentro do laboratório, ensaios de laboratório são essenciais à caracterização do rejeito e ao entendimento de alguns fenômenos que regem seu comportamento, além de permitir a análise de suas propriedades geomecânicas e identificação do seu comportamento a grandes deformações e profundidades em termos da teoria do estado crítico.

2.3.1. Características físicas

Como já abordado nas seções anteriores, os rejeitos de mineração em geral possuem características mineralógicas, geotécnicas, físicas e químicas variáveis, em função do tipo de minério processado, das técnicas de beneficiamento adotadas e do método de disposição.

2.3.1.1. Análise granulométrica

A composição mineralógica da rocha matriz, combinado com o processo de extração e processamento, definem a granulometria dos rejeitos de mineração. Como estas características variam entre diferentes regiões de exploração e mesmo entre diferentes indústrias mineradoras, a determinação de uma curva granulométrica característica para este tipo de material não é trivial. O que se tem feito em trabalhos científicos relacionados a rejeitos é a definição de uma faixa de variação da curva de granulometria para rejeitos de diferentes tipos de mineração, como proposto por Campos (1986) (Figura 2.8). Segundo Vick (1983), a maioria dos rejeitos de mineração encontra-se na faixa granulométrica representativa de materiais siltosos podendo apresentar parcelas de partículas argilosas e parcelas de areia (mais de 30%). A variação granulométrica é em geral significativa, há rejeitos com granulometria muito fina e outros com granulometria extremamente grossa. De acordo com Villar (2002), os rejeitos cuja forma de disposição inicial é na forma de lama, necessariamente terão uma granulometria mais fina e, no caso dos rejeitos de final de processamento industrial, o uso de flocculantes durante a fase de decantação provoca alteração na granulometria.

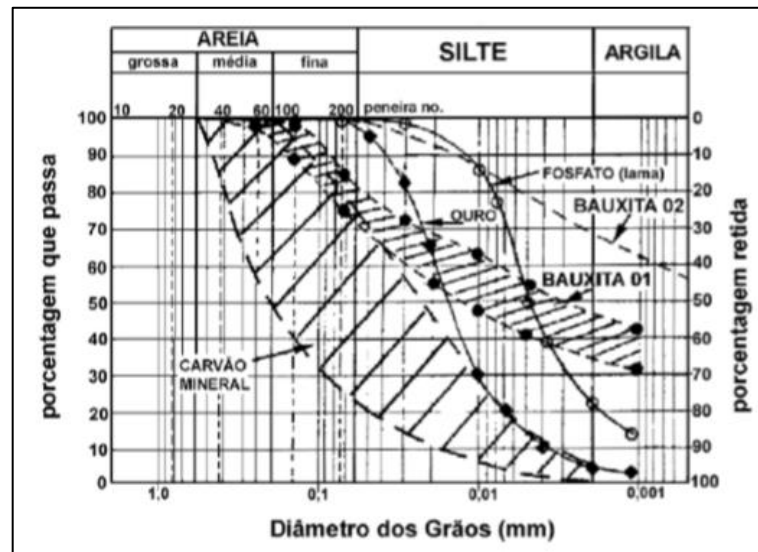


Figura 2.8: Curvas granulométricas de rejeitos (lama vermelha).

Fonte: Campos, 1986 apud Hlenka, 2012.

Esta variabilidade também foi observada em ensaios de granulometria apresentados por Vick (1983) para rejeitos de mineração de zinco (Figura 2.9) provenientes de locais distintos. Analisando os resultados, nota-se que os rejeitos de mineração de zinco possuem maior predominância de partículas com diâmetro de siltes com pequenas quantidades de partículas do tamanho de argilas e areias finas.

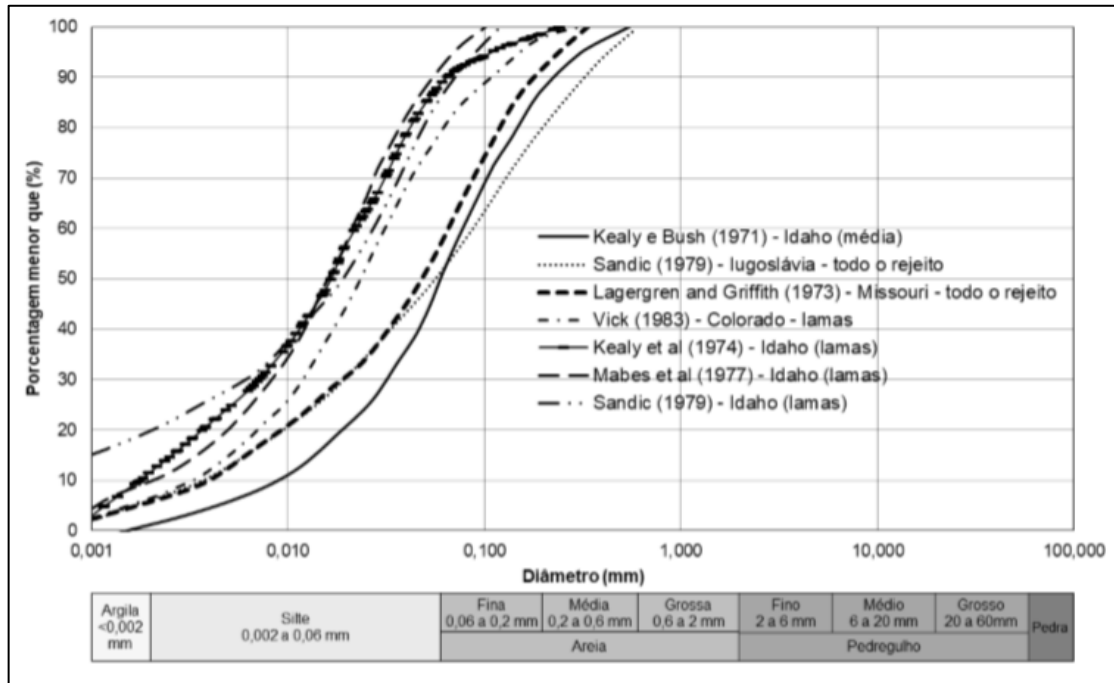


Figura 2.9: Curvas granulométricas características do rejeito de mineração de zinco

Fonte: Adaptado de Vick, 1983 apud Nierwinski, 2019.

Ainda segundo Vick (1983), na grande maioria dos depósitos de rejeitos, logo após sua deposição o material possui altos índices de vazios e baixas densidades secas (ρ_d) na superfície e, com o aumento da profundidade, o material apresenta uma diminuição do índice de vazios e um aumento da densidade. O autor também afirma que a densidade dos rejeitos em campo é influenciada pela massa específica real dos grãos, pelo tipo de rejeito (areias ou lamas) e pela quantidade de partículas com granulometria fina.

Outro ponto importante no estudo da distribuição granulométrica de rejeitos é a influência do tipo de método de lançamento nos diques ou barragens de armazenamento, que pode favorecer a segregação entre as partículas criando zonas com comportamentos diferenciados no lago. A tendência é que as partículas maiores sejam decantadas próximas aos locais de despejo e as mais finas se depositem em zonas mais afastadas, criando as praias de rejeitos (VILLAR, 2002).

2.3.1.2. Massa específica dos grãos

Uma vez que os rejeitos de mineração são frequentemente lançados nos reservatórios com teores de sólidos em torno de 10 a 30% (porcentagem em peso), a massa específica, que é a relação entre a quantidade de matéria e um dado volume, deve ser tomada como característica apenas para uma determinada região do lago, devido aos efeitos de segregação das partículas, como já mencionado na seção anterior.

Já a massa específica dos grãos é um índice físico diretamente ligado à composição mineralógica do material. Altos valores e a variabilidade dos resultados obtidos em ensaios, devem-se à variação da mineralogia da rocha de origem, e principalmente do teor de ferro existente (VILLAR, 2002). Bedin (2010), Brito (2015) e Hlenka (2012) relacionaram alguns valores de massa específica real dos grãos encontrados na literatura, como apresentado na

Tabela 2-4.

Tabela 2-4: Valores de massa específica dos grãos de rejeitos.

Tipo de Rejeito	Autores	Gs (g/cm³)
Bauxita (Brasil)	Villar (2002); Rodrigues & Moura (1992); Pedrosa (1999) e Alves (1991)	3,0 – 3,7
Bauxita (Brasil)	Bedin (2006)	2,75 – 3,5
Bauxita (Brasil)	Barbosa e Santos (2003)	3,3 – 3,5
Bauxita (Brasil)	De Melo & Silveira (1991)	2,9
Ouro (Brasil)	Barbosa e Santos (2003)	2,9
Ouro (Brasil)	Costa Filho, L.M., Santos A.C.B. & Palma A. (2012)	2,89 – 2,93
Ferro (Brasil)	Mendes (2007)	3,5 – 5,25
Cobre (Brasil)	Mendes (2007)	2,6 – 2,8
Zinco (Brasil)	Hlenka (2012)	3,29 -3,37

Fonte: Adaptado de Bedin, 2010.

2.3.1.3. Limites de Atterberg

No caso dos rejeitos de mineração, uma vez que são provenientes de processos físico-químicos, a porcentagem de finos pode não estar interligada à presença de argilominerais. Dessa forma, o ensaio de plasticidade pode ser um indicador da concentração de argilominerais dentre os finos presentes no rejeito. Vick (1983) observou que os rejeitos de mineração de ouro costumam apresentar baixa ou nula plasticidade, o que também é verificado para os rejeitos de zinco.

Nesse sentido, a Tabela 2-5 apresenta alguns valores médios dos índices de consistência de diferentes rejeitos. Nota-se a grande variabilidade entre os valores obtidos por diferentes autores, ressaltando a grande variação nas características de um mesmo tipo de mineral, proveniente de diferentes jazidas.

Tabela 2-5: Índices de consistência obtidos para alguns rejeitos.

Tipo de Minério	Limite de Liquidez (%)	Índice de Plasticidade (%)	Fonte
Ferro	30 – 33	9 – 11	Swarbrick (1992)
Carvão	44 – 74	16 – 46	Swarbrick (1992)
Bauxita	43 – 78	17 – 26	Swarbrick (1992); Zhang, Qu, Wu (2001)
Bauxita (areia vermelha)	30,8	5,1	Bedin (2010)
Bauxita (lama vermelha)	38,9	14	Bedin (2010)
Bauxita (ALCOA)	33,7 – 53,1	2,4 – 17,3	Nierwinski (2013)
Ouro	NI – 27	NP – 24	Pereira (2006 B)
Cobre	26 – 39	4 – 12	Shamsaietal (2007)
Zinco	61 – 101	23 – 64	Hlenka (2012)

Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2015.

Além dos fatores já citados anteriormente, a influência nos ensaios convencionais pode estar relacionada com a presença de sulfato de cálcio proveniente do processo de beneficiamento de

metais não-ferrosos, como do zinco. Segundo Abreu (2009), na etapa de polimento final do efluente são adicionados sulfeto de sódio (Na_2S) e óxido de cálcio (CaO), a fim de que metais remanescentes como Cd, Pb e Ni, sejam precipitados. Conseqüentemente, a lama gerada neste processo apresenta, além dos metais precipitados, considerável teor de sulfato de cálcio (CaSO_4), este que se trata de um produto inorgânico, presente também no concreto. O sulfato de cálcio em sua forma hemi-hidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) causa um fenômeno conhecido como “falsa pega”, que ocasiona a perda súbita da plasticidade. Mediante vibração energética, geralmente a mistura readquire sua trabalhabilidade, pois são rompidas as fracas ligações ocorridas por ocasião da hidratação do hemidrato (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

2.4. PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

A resistência ao cisalhamento de um solo é a máxima tensão de cisalhamento que um solo pode resistir antes de ocorrer a ruptura, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que há a ruptura (LAMBE & WHITMAN, 1979).

O cisalhamento é dado por deslizamentos entre partículas de solo e é função de características como o índice de vazios, nível de tensões, atrito entre os grãos, formato e tamanho dos grãos, composição mineralógica e distribuição granulométrica. Dentre estes, os parâmetros principais que influenciam na resistência a este fenômeno é o atrito e a coesão do solo. A resistência por atrito entre as partículas pode ser definida como a força tangencial necessária para ocorrer o deslizamento de um plano, em outro paralelamente a este. O ângulo formado entre a força normal e a resultante das forças, tangencial e normal na ruptura, é chamado de ângulo de atrito ϕ , sendo o máximo ângulo que a força cisalhante pode ter com a normal ao plano sem que haja deslizamento. O ângulo de atrito interno varia com a pressão confinante, e será maior quanto melhor o embricamento entre as partículas, e, também depende do formato e tamanho dos grãos, da distribuição granulométrica e do índice de vazios.

Adicionalmente, outro fator relacionado a resistência ao cisalhamento é a atração química entre partículas do solo, independente da força normal, denominada coesão real. A coesão real não pode ser confundida com a coesão aparente, uma vez que essa, comum em solos argilosos úmidos não saturados, é determinada pela pressão capilar da água e desaparece à medida que aumenta o grau de saturação do solo.

Para analisar a resistência ao cisalhamento de um solo são utilizados critérios de ruptura, compostos por formulações que refletem o comportamento dos solos até a ruptura. Segundo Souza Pinto (2006), o critério de Mohr Coulomb representa adequadamente o comportamento de solos friccionais que toma por base o estado de tensões. Na prática, as propriedades do solo podem ser obtidas diretamente através de ensaios de laboratório, como ensaio de cisalhamento direto e ensaio de compressão triaxial, ou através de ensaios de campo como o ensaio de cravação de cone (CPT) ou ensaio de palheta, para solos moles.

É importante ressaltar que, se tratando dos ensaios de laboratório, o método de moldagem dos corpos de prova também influencia nos resultados obtidos. Mulilis et al. (1978) listaram alguns efeitos nos diferentes procedimentos de moldagem, tais como: nas amostras moldadas via úmida, a resistência obtida é 38% a 58% maior que nas moldadas a seco; nas moldadas por subcompactação, a resistência é em torno de 10% maior que em corpos de prova moldados com a mesma densidade relativa sem subcompactação. Nesse contexto, Lade (1978) abordou três razões que justificam a dispersão das resistências obtidas com corpos de prova moldados por diferentes técnicas:

- i) orientação nos contatos das partículas;
- ii) segregação dos grãos e;
- iii) variação do índice de vazios ao longo do corpo de prova.

Já em amostras indeformadas, Bedin (2010) afirma que os resultados apresentam resistência maior que os moldados em laboratório, na mesma densidade relativa, sugerindo que as condições “*in situ*” são mais estáveis que as obtidas na moldagem em laboratório (e.g. TOWNSEN, 1978). Singh (1995) também observou o mesmo efeito com amostras de siltes e siltes arenosos, e sugeriu que essa maior resistência em corpos de prova indeformados pode ser devido a cimentação das partículas e história de tensões, que não estão presentes em amostras reconstituídas (RIBEIRO, 2015).

Se tratando de rejeitos de mineração, apesar de não serem geomateriais naturais, ensaios triaxiais de laboratório têm sido realizados a fim de criar uma metodologia padrão de análise desse tipo de material e obter informações válidas sobre seu comportamento em diferentes

condições de contorno. Uma dificuldade, nesse caso, é a retirada de amostras indeformadas que não é um processo trivial e em algumas situações, impossível de ser obtidas devido as condições de campo (BEDIN, 2010). Dessa forma, na maioria dos estudos em laboratório, utiliza-se amostras remoldadas, que podem afetar os resultados obtidos e devem ser analisadas com cuidado, como já discutido anteriormente.

A composição química e distribuição granulométrica também influenciam nos parâmetros de resistência do rejeito. O teor de ferro presente na amostra afeta diretamente o valor do ângulo de atrito: quanto maior o teor em ferro, maior o ângulo de atrito, e quanto maior a porosidade do material essa relação é ainda mais acentuada (MENDES, 2007). A quantidade de finos presentes no solo também influencia na resistência ao cisalhamento de materiais granulares. Desde que os finos reduzem os vazios e provocam melhor interação entre os grãos, os valores de índices de vazios máximo e mínimo são reduzidos e as curvas de tensão-deformação apresentam picos maiores e mais definidos (MENDES, 2007).

Bedin (2010) estudou o comportamento geomecânico dos rejeitos de bauxita e ouro de minas brasileiras. A autora encontrou para o rejeito de bauxita uma granulometria silto argilosa e silto arenosa, variando de acordo com o local de amostragem no reservatório. Estes rejeitos são denominados de lama vermelha e areia vermelha, respectivamente. Foram realizados ensaios triaxiais simples e ensaios triaxiais com medidas de ondas sísmicas e de compressão, pelos quais obteve-se $\phi'=36^\circ$ e $c'=10$ kPa para a lama vermelha, e $\phi'=32^\circ$ e $c'=0$ para a areia vermelha. Adicionalmente, baseada na teoria do estado crítico, a autora conclui que a lama vermelha apresenta baixos riscos à liquefação, enquanto a areia vermelha pode se liquefazer para baixas tensões de confinamento. Já para rejeitos de mineração de ouro, Bedin (2010) aponta que o material é composto por grãos relativamente angulares, com ângulo de atrito efetivo em torno de 30° e sem coesão, com risco de liquefação para baixos níveis de tensão de confinamento e quebra de grãos para tensões de confinamento superiores a 800 kPa.

Campana & Verdugo (2013), por sua vez, estudaram o comportamento do rejeito de mineração de cobre, classificado como areno-siltoso de baixa plasticidade e os valores de ϕ' variaram entre $32^\circ - 36^\circ$ (para $\sigma'_3 < 1$ MPa) e entre $32^\circ - 34^\circ$ (para $\sigma'_3 > 1$ MPa), não havendo redução na envoltória de resistência para altas tensões. Apesar de não ter sido um resultado esperado pelos autores, acredita-se que houve quebra de uma pequena quantidade de partículas com o

confinamento, mas os parâmetros de resistência destes rejeitos não sofreram alterações significativas com altas pressões confinantes.

Dessa forma, dadas as particularidades inerentes aos processos de mineração, a variação dos parâmetros de resistência para os rejeitos de mineração ocorre não só entre diferentes minérios, como também, entre diferentes pontos de coleta de um mesmo minério. Conseqüentemente, é conveniente se tratar desse tema a partir de faixas de variação para os parâmetros de resistência de rejeitos de mineração (Tabela 2-6).

Tabela 2-6: Parâmetros de resistência de alguns rejeitos de mineração.

Tipo de rejeito	ϕ' (°)	c' (kPa)	Fonte
Ouro	23 – 30	0 – 10	Robertson et al. (2003); Bedin (2010)
Bauxita	22 – 42	0 – 100	Somogyi & Gray (1977)
Bauxita (lama vermelha)	36	10	Bedin (2010)
Bauxita (areia vermelha)	32	0	Bedin (2010)
Ferro	27 – 37	0 -2	Hernandez (2002); Ribeiro et al. (2003)
Ferro	25 – 35	0	Filho (2004)
Carvão Mineral	29 – 37	0 – 25	Hegazy, Cushing e Lewis (2004)
Cobre	32 – 36	0	Campaña e Verdugo (2013)
Zinco	33,7 - 38	7 - 17,4	Geoconsultoria (2014)

Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2015.

2.5. TEORIA DO ESTADO CRÍTICO

A Teoria do Estado Crítico (TEC), desenvolvida por Schofield e Wroth (1968) e Atkinson e Bransby (1978), define que o solo atinge um estado estável quando, após alcançar grandes deformações, sua resistência (q ou t), níveis de tensões efetivas (p' e s') e índice de vazios (e)

ficam constantes, caracterizando o estado crítico do solo, que também pode ser expresso matematicamente pela Equação 2.5.

$$\frac{\delta q}{\delta \varepsilon_1} = \frac{\delta p'}{\delta \varepsilon_1} = \frac{\delta \theta}{\delta \varepsilon_1} = 0 \quad (2.5)$$

A teoria aponta que mecanismo básico de compressão em solos é através do rearranjo de grãos. Em solos granulares este mecanismo pode ser acompanhado da quebra de grãos, e, em solos argilosos, pela contração ou expansão das partículas de argila. A quebra de grãos pode ocorrer de forma mais representativa na aplicação de altas tensões, entre 800 kPa a 10000 kPa, sendo então possível identificar o comportamento real destes solos (COOP e LEE, 1993).

O comportamento sob carregamento isotrópico é normalmente representado no espaço $v : \ln(p')$, onde p' representa a tensão efetiva média e v é o volume específico do solo. Os invariantes de tensão q e p' , utilizados para descrever o estado da amostra, e o volume específico v , são definidos pelas Equações 2.6, 2.7 e 2.8.

$$q = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \quad (2.6)$$

$$p' = \frac{1}{3}(\sigma'_1 + 2\sigma'_3) \quad (2.7)$$

$$v = 1 + e \quad (2.8)$$

Para a maioria dos solos, a compressão e a expansão são lineares no espaço $v : \ln p'$, sendo uma boa representação do comportamento da maioria das argilas e areias. Nesse sentido, o comportamento dos materiais sob carregamento isotrópico pode ser esquematizado conforme a Figura 2.10. A trajetória OA corresponde a linha de compressão isotrópica (LCI), que corresponde a Equação 2.9.

$$v = N - \lambda \ln p' \quad (2.9)$$

Onde N é o valor de v para $p' = 1\text{kPa}$ e λ é o valor do gradiente da LCI.

Já no descarregamento, nota-se que, pela trajetória CB, o solo se comporta de forma consideravelmente mais rígida que durante o primeiro carregamento. Isso se deve ao fato de que grande parte das deformações impostas no primeiro carregamento são deformações

plásticas e irreversíveis. Nesse sentido, a linha BC é conhecida como curva de expansão com a Equação 2.10.

$$v = v_k - \kappa \cdot \ln p' \quad (2.10)$$

onde v_k é o valor de v para $p' = 1\text{kPa}$ e κ é o gradiente da curva de expansão. Os parâmetros λ , κ e N são constantes específicas de cada solo, resultando na existência de uma única LCI para cada material diferente.

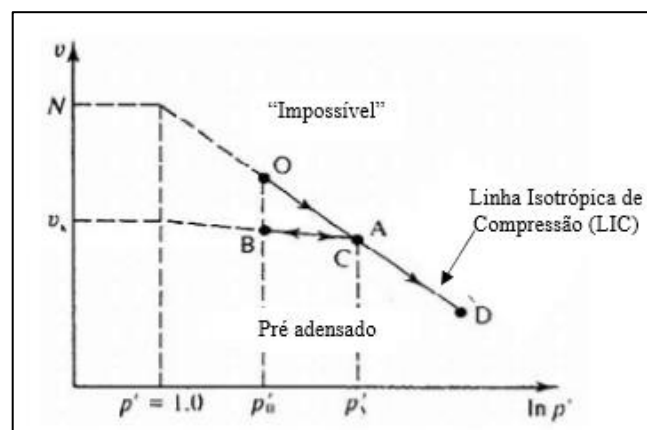


Figura 2.10: Linha Isotrópica de Compressão e de descarregamento.

Fonte: Adaptado de Atkinson, 1993 apud Marques, 2016.

A partir das equações anteriores pode-se obter o estado das amostras a qualquer instante durante um carregamento isotrópico. Uma amostra de solo quando submetida a um carregamento isotrópico segue sobre a trajetória OD da Figura 2.10. Se descarregada, sua trajetória passa a ser uma linha de expansão com a direção da trajetória AB, mas é fisicamente impossível que ela trace um caminho à direita da LCI. Dessa forma, como exposto por Marques (2016), a LCI representa um estado limite entre estados possíveis, à esquerda, e impossíveis, à sua direita.

Analogamente, segundo Atkinson (1983) a linha do estado crítico (LEC) também é representada no espaço $v : \ln(p')$ por uma reta paralela à LCI (Figura 2.11). A LEC pode ser descrita pela Equação 2.11.

$$v = \Gamma - \lambda \cdot \ln p' \quad (2.11)$$

Onde Γ e λ são, respectivamente os coeficientes lineares e angular da reta, e representam propriedades do material no estado de regime permanente. Been & Jefferies (2016) pontuam que Γ e λ são propriedades intrínsecas do solo, isto é, não são afetadas pela estrutura, histórico de tensões, índice de vazios, etc. Ao projetar LEC no plano $p' : q$ é formada uma reta descrita pela Equação 2.12, onde M é o seu gradiente e é equivalente ao ângulo de atrito interno efetivo no estado crítico (ϕ'_c) (MARQUES, 2016).

$$q = M \cdot p' \quad (2.12)$$

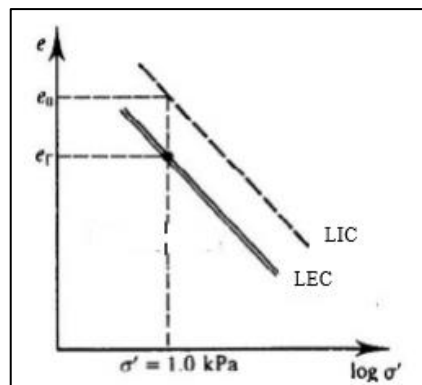


Figura 2.11: Linha do Estado Crítico.

Fonte: Adaptado de Atkinson, 1993 apud Marques, 2016.

Na compressão triaxial, M pode ser calculado a partir da Equação 2.13.

$$M = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'} \quad (2.13)$$

Observa-se que, para um mesmo índice de vazios, o estado de tensões efetivas alcançado no regime permanente será o mesmo, independente do estado de tensões iniciais do corpo de prova. Adicionalmente, quanto maior for o índice de vazios no início do cisalhamento, menores serão as tensões alcançadas no estado crítico. Nesse sentido, a trajetória que um solo irá fazer ao ser carregado depende do estado inicial da amostra em relação a LEC. As amostras que se encontram inicialmente à direita da LEC, lado úmido, tendem a comprimir durante o cisalhamento sem apresentar picos de resistência (areias fofas, argilas normalmente adensadas

e fracamente pré-adensadas). Em contrapartida, se o solo estiver à esquerda da LEC, lado seco, ele tende a expandir após uma pequena contração durante o cisalhamento apresentando picos de resistência antes de atingir o estado último (areias densas e argilas fortemente pré-adensadas).

Similar ao apresentado para a LIC, a envoltória de pico (Figura 2.12a) representa uma linha limite da máxima resistência que pode ser alcançada em cada estado inicial da amostra. Uma vez que para cada valor de índice de vazios (e) existe uma envoltória de pico, quando são plotadas em um mesmo espaço, forma-se uma superfície de pico no espaço tridimensional $q:p':v$, como apresentado na Figura 2.12b.

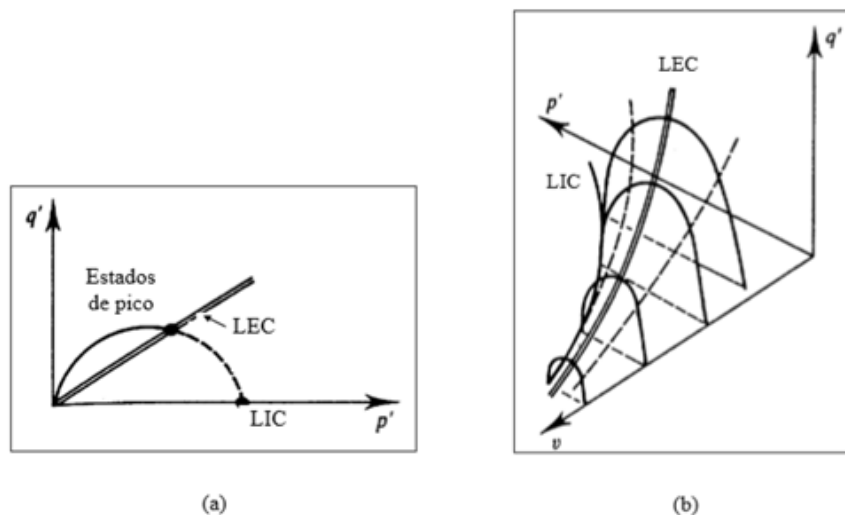


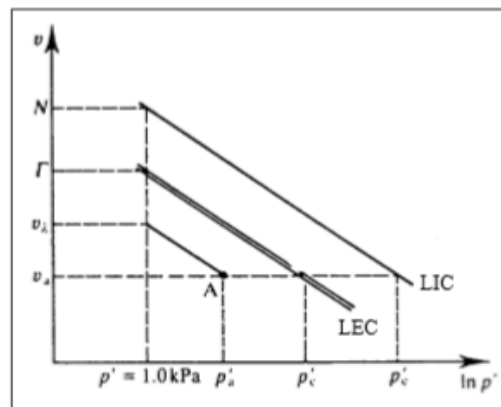
Figura 2.12: (a) Representação da envoltória de pico e (b) da Superfície Limite de Estado.

Fonte: Adaptado de Atkinson, 1993 apud Marques, 2016.

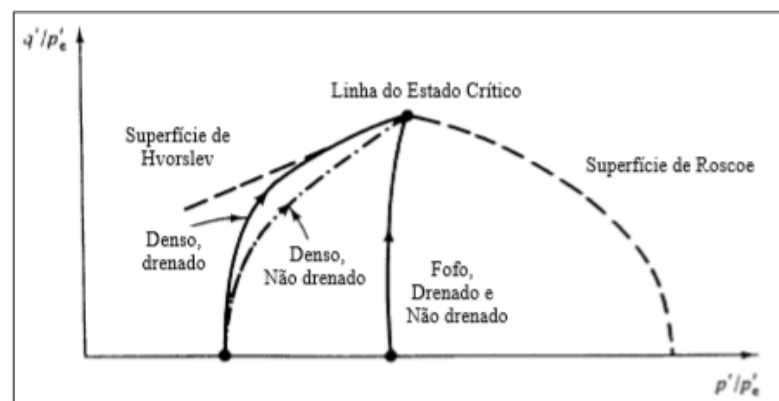
A superfície limite de estado é o limite para todos os estados possíveis de um solo reconstituído. Por definição, para um solo não cimentado, não é possível existir estados fora desta superfície. Durante o cisalhamento, se o solo estiver dentro da superfície limite de estado, assume-se que as deformações são puramente elásticas. No momento em que a trajetória alcança a superfície limite, ocorrem deformações elastoplásticas. Porém, este modelo é de um comportamento

idealizado, na prática são observadas deformações inelásticas dentro da superfície limite de estado.

Uma estratégia de normalizar as tensões é sugerida por Atkinson (1993), uma vez que na superfície limite de estado as seções de volume específico constante possuem a mesma forma, variando apenas de tamanho dependendo do índice de vazios, faz-se viável tornar as tensões p' e q adimensionais. Os parâmetros de normalização, apresentados na Figura 2.13a, são a tensão equivalente (p'_e) e a tensão crítica (p'_c). Ambas as tensões correspondem a tensão na LCI e na LEC com o volume específico do solo após ser isotropicamente consolidado.



(a)



(b)

Figura 2.13: (a) Parâmetros para normalização; (b) superfície limite de estado no plano normalizado $p'/p'_e : q'/p'_e$.

Fonte: Adaptado de Atkinson & Bransby, 1978.

Ao normalizar em relação à pressão equivalente, as trajetórias de tensão para solos normalmente adensados (NA) ou fracamente pré-adensados (PA), drenados e não drenados, seguem sobre a Superfície de Roscoe (Figura 2.13b). Esta superfície liga os pontos representados pela LCI e pela LEC no espaço $q:p':v$. Desta forma, a superfície de Roscoe é uma superfície limite de estado onde é impossível que um solo reconstituído se situe à sua direita no plano normalizado $p'/p'_e : q/p'_e$. Da mesma forma, para solos em estado fortemente PA, a Superfície de Hvorslev é o limite.

Em condição não drenada, é possível obter o valor de M ao normalizar as tensões q/p' . Plotando a curva q/p' versus deformação axial ϵ_a , para grandes deformações, nas quais o solo atinge o estado sobre a superfície limite de estado, no lado seco e no lado úmido da LEC, a curva q/p' tende a um valor constante de M , conforme a Equação 2.18.

$$\frac{q}{p'} = M \quad (2.18)$$

2.5.1. Estado Crítico em areias

Uma vez que os rejeitos de mineração são materiais heterogêneos, compostos por partículas com diferentes granulometrias variando principalmente entre areia e silte, entender a mecânica clássica dos solos sobre o comportamento de areias é fundamental para analisar o comportamento dos rejeitos e inspecionar suas peculiaridades.

Como apontado por Atkinson e Bransky (1978), o comportamento de areias e argilas reconstituídas é diferente quando carregadas isotropicamente. Uma argila normalmente adensada isotropicamente deverá apresentar um estado sobre uma LCI e seu estado corrente é alcançado unicamente pelo estado de tensões. Em contrapartida, o comportamento de uma areia não é determinado somente pelo estado de tensões, mas também pelo seu volume específico inicial, uma vez que em um mesmo nível de tensões uma areia poderá ser fofa ou densa, dependendo do método de moldagem das amostras.

Nesse contexto, Atkinson e Bransby (1978) afirmam que irão existir diferentes curvas de compressão aproximadamente lineares e quase paralelas ao eixo p' para valores de tensão

abaixo de 700 kPa, totalmente dependentes do volume específico inicial das amostras de areia. Para tensões maiores que 700 kPa, a LCI da areia se unifica com um gradiente consideravelmente mais elevado. O diagrama de compressão isotrópica para argilas, mostrado na Figura 2.11, é considerado, então, o mesmo que o da areia, porém com um κ próximo a zero. Adicionalmente, vários autores verificaram que solos arenosos alcançam, de fato, uma única LCI em amostras carregadas a um nível de tensões suficientemente elevado (e.g. JEFFERIES & BEEN, 1987; COOP & LEE, 1993). Dessa forma, concluiu-se que os modos de comportamento (*strain hardening e strain softening*) são definidos não apenas pela densidade relativa, mas também pela combinação entre volume específico (v), tensões efetivas médias (p') e tensão desviadora (q), que definem o local do estado do solo relativo à LCI ou à LEC.

Considerando que a LEC é única para uma determinada areia, Been & Jefferies (1985) propõem a existência de um único parâmetro físico para quantificar o comportamento da areia: o Parâmetro de Estado (ψ). Este parâmetro define e e p' de uma areia relativos a um estado de referência (estado crítico), como descrito por Been & Jefferies (1985).

Parâmetros adicionais que descrevem a estrutura e anisotropia de tensões são necessários para definir o estado de uma areia unicamente, mas na prática esses parâmetros são geralmente desconhecidos. O parâmetro de estado, citado anteriormente, é a distância entre os pontos do estado inicial e do estado último no plano $v : \ln(p')$. Variando a granulometria de uma areia previamente lavada, os autores observaram maior declividade da LEC com o aumento do teor de finos, o que é consistente com a elevação da compressibilidade com maior teor de finos.

2.5.2. A não-linearidade da linha do estado crítico no espaço $e : \ln(p')$

Apesar da hipótese de linearidade da LEC, como apresentado nas seções anteriores, trabalhos recentes com solos com granulometria intermediária (como areias com presença de finos e rejeitos de mineração) mostram que, mesmo no plano $v : \ln(p')$, a LEC pode ser curva e possuir uma assíntota horizontal para baixas tensões e elevados índices de vazios (BEDIN, 2010; LI & WANG, 1998; CARRERA et al., 2011).

Além disso, a LEC também pode apresentar declividade acentuada para elevadas tensões e baixos índices de vazios, como apresentado na Figura 2.14 (BEDIN et al., 2012). O aumento

na declividade da linha em altas tensões está em sua maioria associado à quebra de grãos, o que será discutido em itens posteriores deste trabalho.

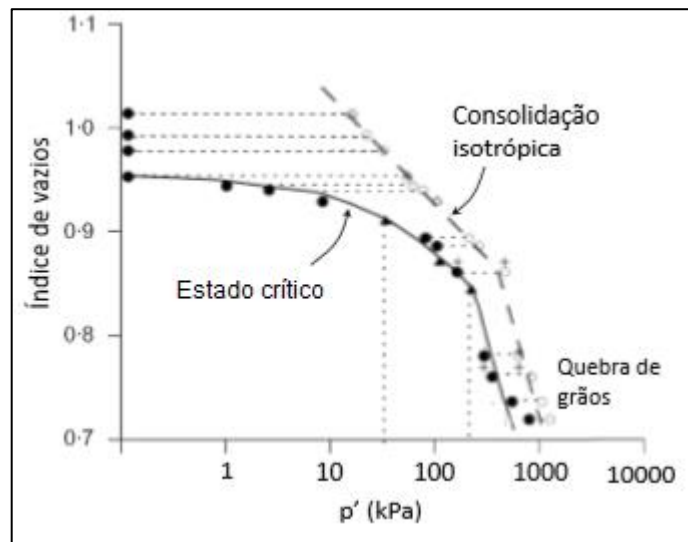


Figura 2.14: LEC não linear no espaço $e : \ln(p')$

Fonte: Adaptado de Bedin et al.,2012.

Entre os fatores que interferem na linearidade da linha do estado crítico estão principalmente influência do teor de finos não-plásticos e plásticos e da quebra de grãos.

2.5.2.1. LEC para solos transicionais

A teoria do estado crítico é tradicionalmente aplicada para compreender o comportamento de solos finos e, recentemente, tem sido aplicada também para solos arenosos com algumas modificações (e.g. COOP & LEE, 1993; BEEN ET AL., 1991). Já os solos com granulometria intermediária recebem bem menor atenção.

Recentes pesquisas têm focado em compreender o relativo efeito das frações grossas e finas em misturas de solos, principalmente a influência do índice de vazios na obtenção de um comportamento único para solos com diferentes misturas. No entanto, existe uma suposição

subjacente de que tipo de conceito de estado crítico poderia ser aplicado a esses solos, uma vez que ele tem sido usado com sucesso para areias limpas.

Coop & Nocilla (2014) afirmam que em pesquisas com solos com granulometria intermediária, tem-se enfatizado que a Teoria de Estado Crítico não pode ser diretamente aplicada. Inicialmente, Martins et al. (2002) identificaram em amostras reconstituídas de uma areia residual mal graduada que as curvas de compressão normal não se convergem (Figura 2.15). Para pequenas tensões, as trajetórias de compressão são relativamente íngremes e, mesmo em altas tensões, são diferentes para amostras com índice de vazios inicial distintos. Esse tipo de comportamento tem sido nomeado de “transicional” e representa o modo em que solos com granulometria intermediária entre areias limpas e argilas se comportam.

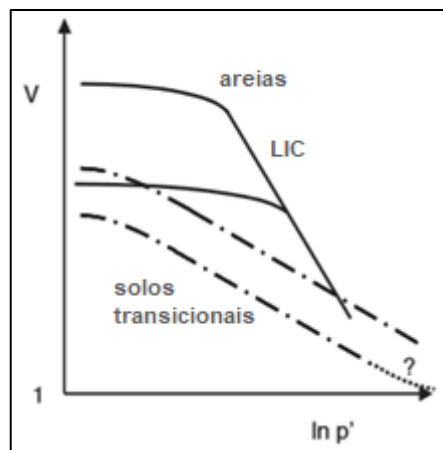


Figura 2.15: Comportamento da LCI em areias e em solos transicionais.

Fonte: Adaptado de Nocilla et al., 2006.

O efeito de uma pequena parcela de finos não-plásticos na linha do estado crítico (LEC) de areias foi investigado pela primeira vez por Benn & Jefferies (1985). Muitos outros estudos que também avaliam a influência de finos na resposta do carregamento monotônico não-drenado, como Lade & Yamamuro (1997); Thevanayagam (1998); Thevanayagam et al. (2002) e NI et al. (2004). Em geral, os autores mostram que, para um dado valor de índice de vazios, a presença de finos não-plásticos aumenta a contratividade e colapsibilidade ou reduz a dilatação da areia. Observou-se que a adição de finos não-plásticos em areias causa uma clara translação para

baixo da linha do estado crítico no espaço $e : p'$, o que implica que a total dilatação da amostra reduz com o aumento do conteúdo dos finos para um dado índice de vazios.

Shipton & Coop (2012) discutem o comportamento de solos transicionais, nos quais os estados de compressão e o cisalhamento dependem da densidade inicial de formação do solo. Mesmo comprimindo-os a altas pressões, as curvas de compressão para diferentes densidades iniciais não convergem em uma única linha de compressão normal, como ocorre em areias puras quando seu comportamento passa a ser controlado pela quebra de grãos. Similarmente, submetendo um solo transicional ao cisalhamento monotônico, como em ensaios triaxiais, não se alcança apenas um único estado crítico no plano $v : \ln(p')$. Todavia, Shipton & Coop (2012) salientam que a linha do estado crítico não é necessariamente única, ainda que não haja a possibilidade de identificar apenas uma linha de compressão normal.

Apesar das características da estrutura do solo desempenharem importante influência em deformações contínuas, Shipton & Coop (2012) afirmam que a característica fundamental de solos transicionais é a dominância do índice de vazios inicial no seu comportamento. Os autores após realizarem ensaios oedométricos e triaxiais com amostras de misturas de areia com finos plásticos e não-plásticos, variando volume inicial e tensão confinante, encontraram curvas de estado crítico paralelas, tanto para a amostra de areia com finos plásticos (SPF) como para a de areia com finos não plásticos (SNF). SPF apresentou comportamento transicional, o que foi constatado também nas amostras de SNF, sendo possível concluir que o comportamento transicional não está necessariamente relacionado à plasticidade dos finos (Figura 2.16).

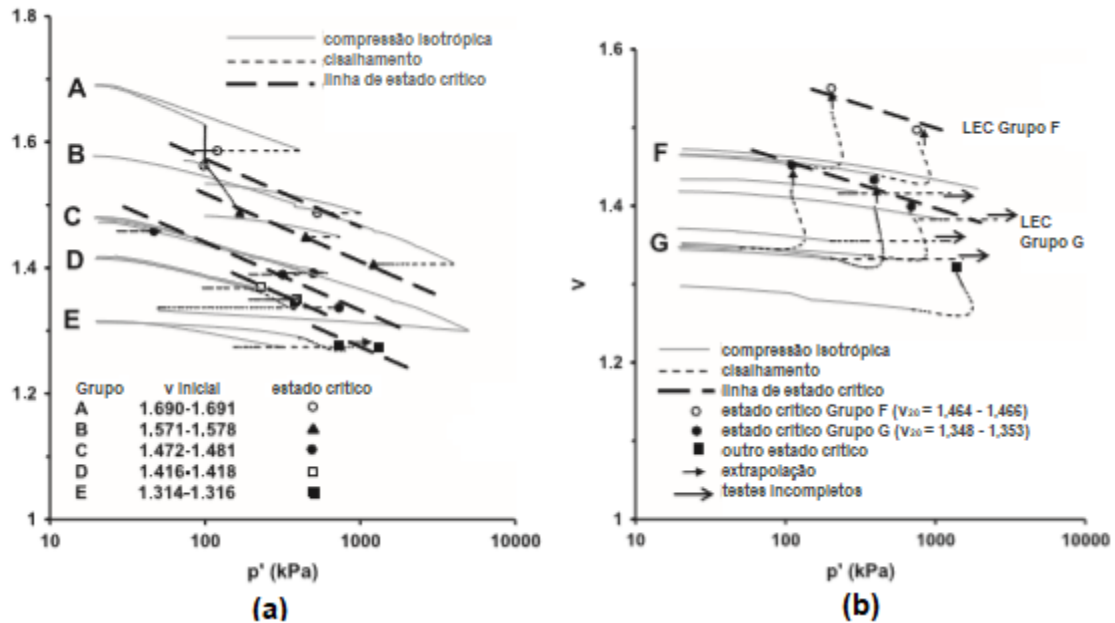


Figura 2.16: LCI e LEC em solos transicionais. (a) areia com finos plásticos. (b) areia com finos não-plásticos.

Fonte: Adaptado de Shipton & Coop, 2012.

2.5.2.2. Quebra de grãos em solos granulares e transicionais sob altas tensões

O comportamento de solos submetidos a altas tensões tem sido de grande interesse nesses últimos anos devido a problemas de engenharia que envolvem, por exemplo, execução de fundações muito profundas, construção de galerias subterrâneas para estoque de lixo radioativo, melhor entendimento do mecanismo de estratos com óleo de petróleo a ser explorado e estudo de alteamento de barragens e aterros.

Sob altas tensões, a linha de compressão normal (LCN) de solos granulares resulta da quebra de partículas do solo. O nível de tensão em que a quebra se inicia e a linha de compressão normal dependem não apenas da resistência das partículas do solo, mas também da densidade do solo. Coop & Lee (1993) analisaram o comportamento de dois solos granulares diferentes.

O primeiro, areia de Dogs Bay, composto por fragmentos de concha de baixa resistência e moldado em amostras fofas com baixa densidade, apresentou grande tensão no contato entre partículas, plastificando com tensão máxima em torno de 800 kPa. Já as amostras da areia de

Ham River, preparadas da mesma forma que as anteriores, alcançaram resistência de 10.000 kPa, o que pode ser justificado pela grande resistência das partículas sólidas de sílica que formam esse solo, combinado com sua maior densidade. Amostras compactas de cada solo também apresentaram maior tensão de plastificação do que as amostras fofas, novamente devido ao maior número de contato entre partículas no estado compacto e, conseqüentemente, menores tensões entre partículas.

Em ambos os ensaios foi observado que o primeiro carregamento, tanto nas amostras compactas como nas fofas, resultou em um ponto de plastificação pouco evidenciado. Coop (1990) atribui esta constatação ao fato de que o começo da quebra dos grãos é um processo gradual. Já quando foram feitos ensaios de carga-descarga, o comportamento foi bem distinto, uma vez que o solo está muito rígido e elástico devido ao fato de que as partículas já sofreram quebra irreversível. Desde que a estrutura do solo e do contato inter-partículas não sofra distúrbio durante o descarregamento, ao impor o recarregamento sucessível da amostra, as partículas começam a quebrar de novo. Isto ocorre exatamente na tensão máxima prévia gerando um ponto de plastificação muito melhor definido do que no primeiro carregamento.

Murthy et al. (2007) apontam que o estado crítico também é governado pela quebra de grãos. Quanto menos uniforme a granulometria da areia se torna e com o aumento de partículas do tamanho de silte (FC), tanto o gradiente como o intercepto da linha do estado crítico tendem a reduzir. Em tensões muito altas observou-se que a linha do estado crítico tende a se curvar e não se apresentaria como uma linha reta no espaço $e:\ln p'$ indefinidamente (Figura 2.17). Murthy et al. também analisou a influência na curva de cisalhamento utilizando diferentes métodos de moldagem: deposição em consistência de lama (SD) e compactado úmido (MT) – e algumas amostras de areia limpa foram preparadas pelo processo de pluviação (WP).

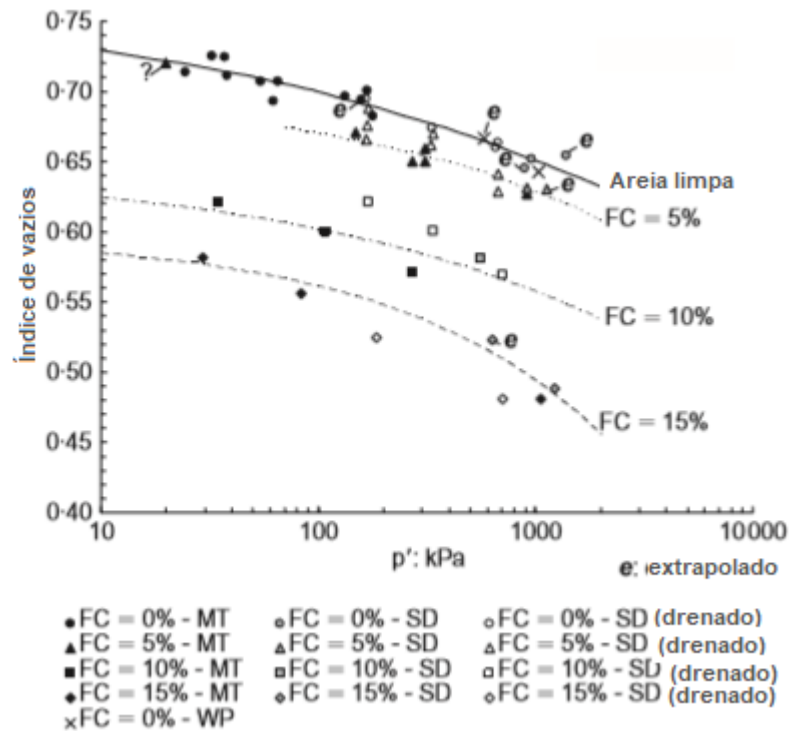


Figura 2.17: LEC em areias limpas e com presença de finos

Fonte: Adaptado de Murthy et al., 2007.

Adicionalmente, Coop & Nocilla (2014) também investigaram a ocorrência e efeito da quebra de partículas no comportamento dos solos transitórios. Na pesquisa, foram utilizadas duas amostras mal graduadas: uma composta por areia e caulim e, outra de areia e partículas quebradas de quartzo. Cada amostra foi peneirada após o ensaio oedométrico e, em seguida, foi feito o ensaio de sedimentação. As curvas granulométricas de antes e após o ensaio estão apresentadas na Figura 2.18.

Analisando a figura supracitada, nota-se que na mistura areia-caulim pode ser observado um padrão claro dentro da fração mais grossa, com a quantidade de quebra aumentando com o nível de tensão. Observou-se uma quebra significativa mesmo para tensão relativamente baixa de 100 kPa. Para as areias, Coop & Lee (1993) mostraram que deveria haver uma quantidade única de quebra em uma determinada tensão, uma vez que a areia atingisse sua linha de compressão normal, independente do seu volume inicial. Porém, nos ensaios com solos transitórios, observou-se maior quantidade de quebra de grãos em amostras com menor volume específico

inicial. Apesar da suposta incoerência deste fato, já que para amostra de areia limpa com um menor volume específico inicial espera-se que se tenha um maior contato entre partículas e, portanto, menores tensões entre elas. Porém, conforme salientado por Coop & Nocilla (2014), devido à presença de uma matriz de finos entre as partículas de areia, um volume específico inicial maior reduz a possibilidade de contato entre as partículas de areia e, conseqüentemente, a quantidade de quebra, com o aumento da tensão sendo transmitido através da fração fina.

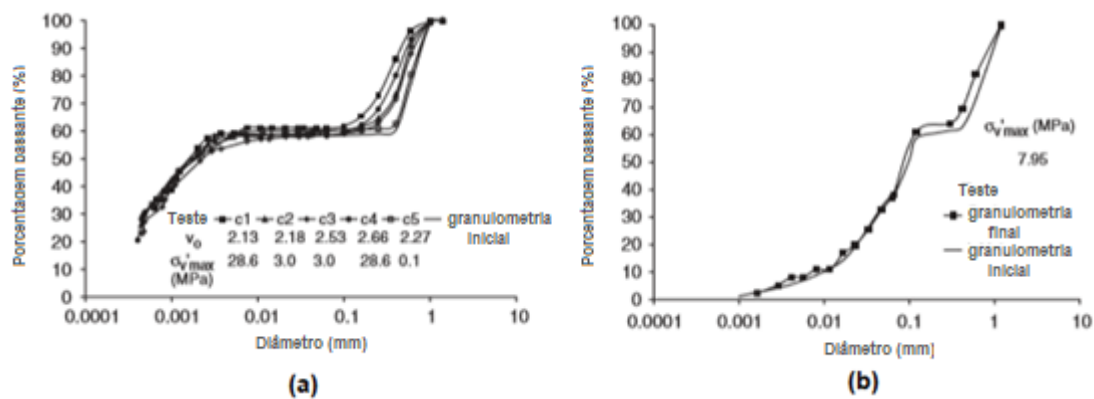


Figura 2.18: Granulometria antes e após o ensaio oedométrico. (a) mistura areia-argila. (b) mistura areia-silte.

Fonte: Adaptado de Coop & Nocilla, 2014.

Entre a fração fina, a análise é mais dispersa em decorrência da dificuldade de se repetir os ensaios de granulometria com a técnica de sedimentação, embora haja, novamente, talvez uma tendência para as amostras mais densas e mais pesadas mostrarem uma curva de graduação maior. Para a mistura areia-silte, há novamente clara evidência de quebra de partículas na fração mais grossa.

Hardin (1985) aponta que para o tipo de deformação que primariamente causa mudanças no volume, como deformação unidimensional ou compressão isotrópica, a quebra de partículas leva a uma redução do volume da amostra. Já para deformações onde as partículas se movem uma sobre a outra, como na compressão triaxial ou no cisalhamento direto, o esmagamento em contatos deslizantes ou quebra de partículas reduz a taxa de dilatação correspondente a uma

dada relação de tensão principal. Dessa forma, para entender como se configura a resistência e o comportamento tensão-deformação dos solos, é importante definir o grau em que as partículas de um elemento de solo são esmagadas ou quebradas. A quantidade de partículas esmagadas que ocorre em um elemento de solo sob tensão depende dos seguintes parâmetros:

- i) Distribuição granulométrica;
- ii) formato das partículas;
- iii) estado de tensões efetivas;
- iv) trajetória de tensão efetiva;
- v) índice de vazios;
- vi) dureza da partícula e;
- vii) a presente ou ausência de água na amostra.

A quantidade de quebra de partículas durante o carregamento é definida pela distribuição granulométrica antes e depois do carregamento. Nesse contexto, a fim de quantificar a quebra da fração grossa, Hardin (1985) criou o conceito de quebra relativa, Br , que pode ser obtida analiticamente como na Figura 2.19. Esse índice (Br) permite quantificar a quebra em diferentes estados de tensão e densidades, além de permitir comparar a quebra em solos diferentes de forma mais simples.

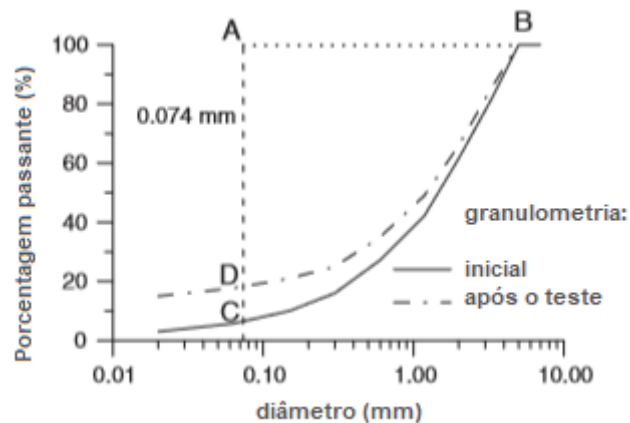


Figura 2.19: Definição de quebra relativa, Br

Fonte: Adaptado de Hardin, 1985.

Onde: área BCDB = quebra total de partículas (Bt);

área BCAB = potencial de quebra (Bp);

Logo, a quebra relativa (Br) pode ser calculada pela Equação 2.20.

$$Br = \frac{Bt}{Bp} \quad (2.20)$$

Plotando Br versus p' para cada solo, como apresentado por Coop & Lee (1993) na Figura 2.20, nota-se que para baixas tensões, Br tende a 0 e, como observado anteriormente, o início do esmagamento entre partículas é um processo gradual. Já em altas tensões, a relação entre Br e $\ln p'$ é aproximadamente linear. O nível de tensão em que começa a haver significativa quebra de grãos é claramente relacionado a resistência da partícula, sendo em torno de 100 kPa para a areia de Dogs Bay e em torno de 1500-2000 kPa para a areia de Ham River. Em cada caso a relação entre Br e tensão é única e independente da trajetória de tensões utilizada para se alcançar o estado crítico.

A Figura 2.20(b), também mostra que Br no Estado Crítico é independente, inclusive, se o solo era compacto ou pré-consolidado. A linearidade dos gráficos sugere uma relação linear entre Br e o volume específico do solo no Estado Crítico e uma relação similar é esperada entre Br e p' durante compressão isotrópica. Em qualquer p' dado, os estados normalmente comprimidos devem ser menores que os obtidos após cisalhamento e a separação entre as duas linhas corresponde a separação da linha de compressão normal e a linha do estado crítico no espaço $v : \ln(p')$

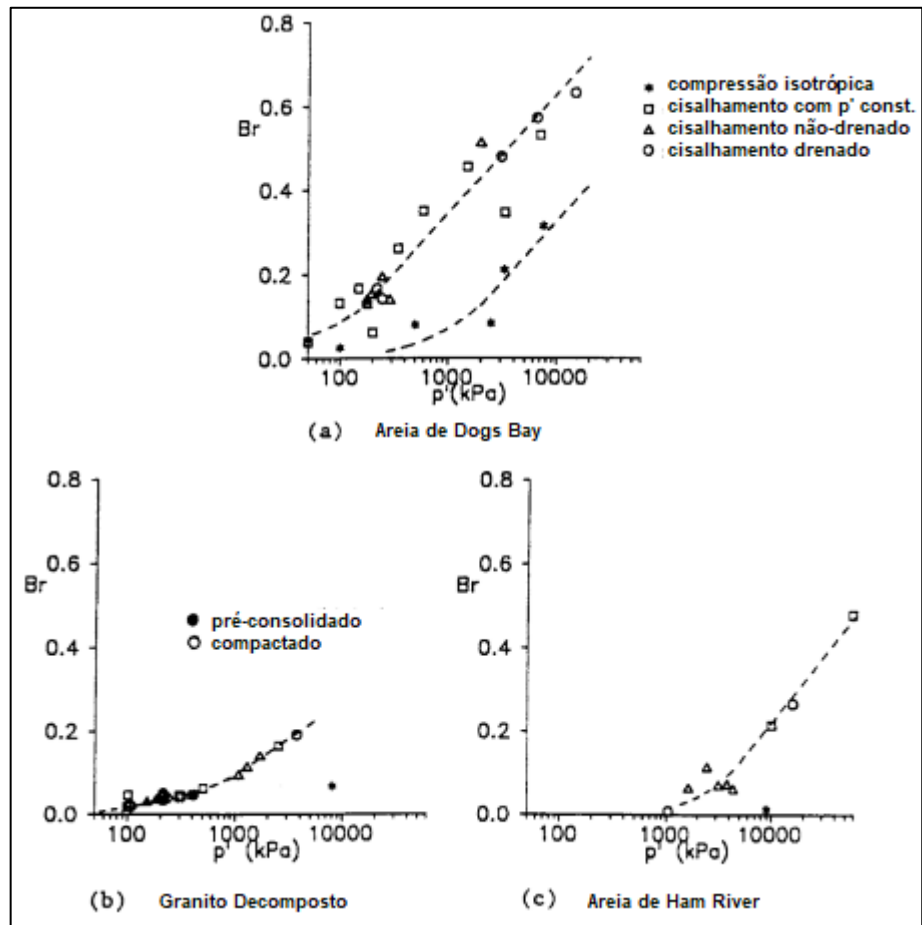


Figura 2.20: Análise de quebra de grãos para solos arenosos em diferentes condições.

Fonte: Adaptado de Coop & Lee, 1993.

2.6. COMENTÁRIOS FINAIS

A etapa de revisão bibliográfica teve como objetivo apresentar as principais observações dos estudos desenvolvidos até o momento relacionados a rejeitos de mineração, principalmente abordando rejeitos de mineração de zinco. A necessidade de projetos de barragens de rejeito com maior grau de segurança, exige o melhor conhecimento do rejeito e seu comportamento geomecânico. À medida que ciclos de despejo são realizados em diferentes pontos do reservatório, esses materiais são submetidos a diferentes tensões de confinamento e carregamento, que devem ser levados em conta a partir dos parâmetros de resistência na realização de projetos.

Neste sentido, os ensaios de laboratório são importantes a fim de caracterizar a configuração física e mecânica do material. Entretanto, a interpretação dos resultados deve ser realizada com critério e julgamento, uma vez que a estratificação acentuada destes depósitos e a dificuldade de retirada de amostras indeformadas dificultam a interpretação dos resultados e o estabelecimento de condições de contorno que favoreçam uma análise racional de propriedades de depósitos de rejeitos de mineração.

Dessa forma, torna-se necessário estudos adicionais objetivando a melhor compreensão das propriedades de depósitos de rejeitos de mineração. Este trabalho visa avaliar as propriedades geomecânicas de rejeitos originários da atividade de lavra e beneficiamento de mineração de zinco e, a partir de amostras deformadas compactadas à vácuo, obter parâmetros de projeto como trajetória de tensões, ângulo de atrito efetivo, linha de consolidação isotrópica e linha do estado crítico.

3. MATERIAIS, MÉTODOS E PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo será apresentada uma descrição dos materiais utilizados no estudo presente, de como foi feita a preparação das amostras, das técnicas e procedimentos relevantes à execução do programa experimental e dos equipamentos utilizados.

3.1. MATERIAIS

3.1.1. Rejeito de mineração de zinco

O rejeito de mineração de zinco estudado é proveniente da Barragem dos Peixes situada nas dependências do complexo industrial da Votorantim Metais Zinco, em Juiz de Fora – MG (Figura 3.1). Nessa indústria da Votorantim trata-se zinco concentrado importado. Durante uma campanha de ensaios de campo (Geoconsultoria, 2012), foram retiradas amostras deformadas, por testemunhos de SPT de 1 a 12m de profundidade, e indeformadas do tipo Shelby, em 3 diferentes pontos da barragem, como esquematizado na Figura 3.2.

O acesso às estações de ensaio, também denominadas de ilhas de investigação, só foi possível com a execução de caminhos com *pallets* de madeira e estruturas de eucalipto, conforme indicado na Figura 3.3, devido à baixa consistência do material durante a campanha de ensaios iniciada em 2009.

Segundo Hlenka (2012), as áreas de disposição dos rejeitos de zinco são impermeabilizadas e dotadas de drenagem de fundo para atender as legislações ambientais, evitando danos ao meio ambiente. Estas áreas, compostas por diques de solo compactado, recebem o rejeito pela técnica convencional de transporte por via úmida com baixa concentração de sólidos. A composição do líquido presente nos rejeitos lançados nas barragens, que é proveniente do tipo de beneficiamento adotado, pode oferecer ao material diferentes graus de saturação, elevando a linha piezométrica e resultando num aumento das pressões neutras atuantes.



Figura 3.1: Barragem dos Peixes Votorantim Metais e Zinco - Juiz de Fora - MG.

Fonte: Hlenka, 2012.

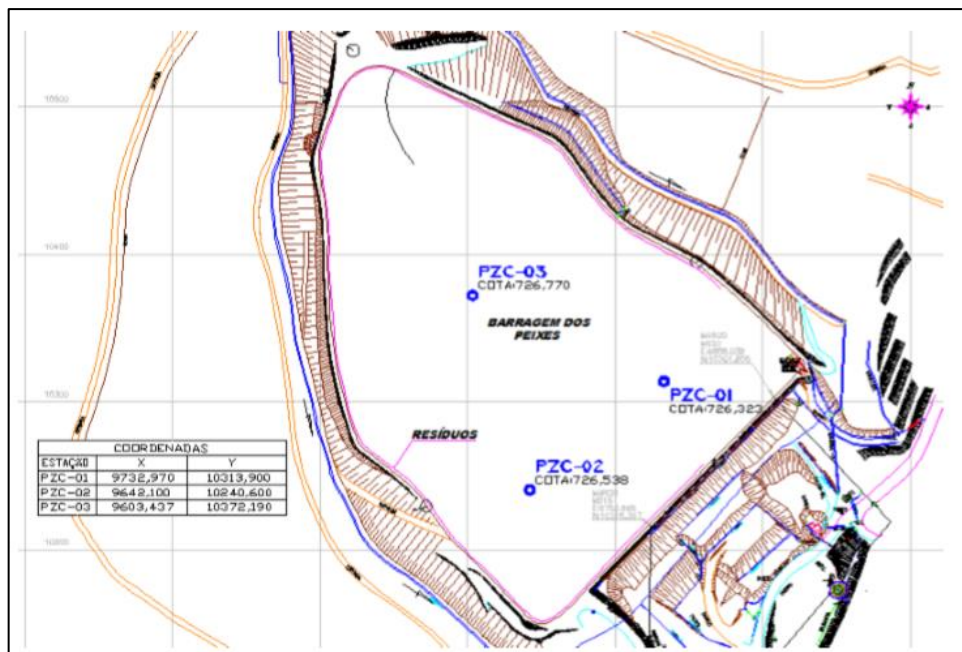


Figura 3.2: Localização dos furos de extração de amostras nas profundidades de 1 a 12m.

Fonte: Hlenka, 2012.



Figura 3.3: Caminho executado para acesso a Estação PZC01

Fonte: Hlenka, 2012.

Hlenka (2012) caracterizou o material em campo quanto ao seu peso específico natural a partir de ensaios de determinação da densidade in situ com o material coletado a cada profundidade (1 a 12m), e obteve resultados de um material com consistência de solos orgânicos moles ($\gamma_n < 15\text{kN/m}^3$), cujos valores variaram de 11,27 a 14,92 kN/m^3 , com média de 13,22 kN/m^3 . Estes valores são apresentados na Figura 3.4, pela qual é possível constatar uma pequena variação entre as estações, demonstrando que não há variabilidade significativa devido ao processo de lançamento do rejeito na barragem. Outro ponto a ser ressaltado é a tendência de aumento do peso específico do rejeito com a profundidade.

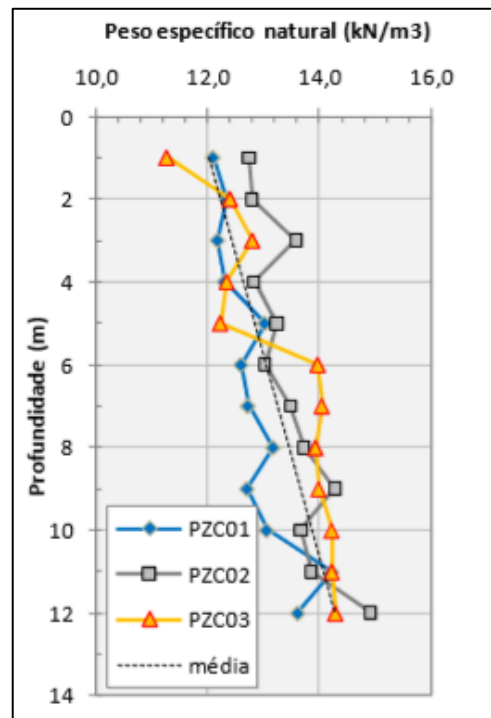


Figura 3.4: Variação do peso específico do rejeito de zinco.

Fonte: HLENKA, 2012.

Neste trabalho, o rejeito de zinco coletado foi seco em estufa no laboratório e armazenado em bombonas. A partir deste procedimento, o trabalho atual visa caracterizar físico-quimicamente o material, bem como realizar ensaios triaxiais sob baixas e altas tensões efetivas em amostras remoldadas a fim de obter parâmetros de resistência e analisar o fenômeno de quebra de grãos.

3.2. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Os ensaios de laboratório realizados nesta pesquisa contemplam a execução de ensaios de caracterização física, como ensaios de granulometria por sedimentação, limite de liquidez e plasticidade e determinação da massa específica real dos grãos. Além disso, são previstos ensaios triaxiais não drenados sob baixas e altas tensões para análise de parâmetros de resistência em amostras de rejeito com índice de vazios variando entre 2,62 e 3,14. Estes ensaios

tem por objetivo analisar as características dos rejeitos e seus comportamentos em diferentes tensões de confinamento, a fim de simular a situação real de subsequentes ciclos de despejo sobre o reservatório e a construção de alteamentos de barragens.

3.2.1. Ensaios de Caracterização Física

3.2.1.1. Preparação das amostras

Inicialmente, todo o rejeito foi seco a 100°C por pelo menos 24h, destorroado e homogeneizado (Figura 3.5). Em seguida, o material foi armazenado em potes de vidro com boa vedação para evitar a umidade.



Figura 3.5: Rejeito de zinco seco e destorroado

3.2.1.2. Granulometria por peneiramento e sedimentação

A determinação da curva de granulometria dos rejeitos foi realizada segundo os procedimentos da NBR 7181:2017. Esse ensaio foi realizado para o material em estado cru e para o material dos corpos de prova cisalhados sob altas tensões, a fim de, além de caracterizar o material, analisar o fenômeno de quebra de grãos.

3.2.1.3. Limites de Atterberg (LL, LP e IP)

Os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade seguiram os procedimentos prescritos nas normas NBR 7180:2017 e NBR 6459:2017, respectivamente.

3.2.1.4. Massa Específica dos Grãos (Gs)

A determinação da massa específica dos grãos de rejeito de mineração de zinco seguiu os procedimentos descritos na NBR 6508:2017. O tempo de agitação e aplicação de vácuo foi de 30 min por estágio, o dobro do mínimo recomendado pela norma, para se obter a remoção total do ar aderente às partículas.

3.2.2. Análise Microestrutural

Os ensaios de Microscopia eletrônica foram realizados pelo Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) da UFRGS e tem o objetivo de investigar a composição química do material estudado.

3.2.2.1. Difractometria de Raios X (DRX)

O ensaio de difratometria de raios X (DRX) analisa a composição mineralógica dos materiais. Quando o feixe de elétrons incide sobre o material, os elétrons mais externos dos átomos e os íons constituintes são excitados, mudando de níveis energéticos. Ao retornarem para sua posição inicial, liberam a energia adquirida em comprimentos de onda no espectro de raios onde um detector mede a energia associada a cada elétron. Uma vez que os espectros de raios-x podem ser obtidos para todos os elementos da tabela periódica, com exceção do hidrogênio, faz-se possível identificar quais minerais estão sendo observados (BEDIN, 2010). O equipamento utilizado nestas análises trata de um Difratorômetro modelo PanAnalytical MDP do Laboratório de Análise de Materiais Cerâmicos (LACER) da UFRGS.

3.2.2.2. Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX)

Segundo o Instituto de Geociências (IGEO) da UFRGS, a espectrometria de fluorescência de raios X é uma técnica não destrutiva que permite identificar os elementos químicos com número atômico maior que 10 presentes em uma amostra (análise qualitativa), além de estabelecer a proporção (concentração) em que cada elemento se encontra presente na amostra. A Análise Quantitativa é dividida em duas categorias:

- i) Elementos maiores em forma de seus óxidos (em concentrações significativas): SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (total), MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 .
- ii) Elementos menores (elementos traço): Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, As, Pb.

O equipamento utilizado nestas análises trata de um Shimadzu XRF1800 do Laboratório de Análise de Materiais Cerâmicos (LACER) da UFRGS.

3.2.3. Caracterização Geomecânica

Na presente pesquisa, os parâmetros de resistência dos rejeitos foram determinados a partir de ensaios triaxiais com amostras saturadas e consolidadas isotropicamente. Os ensaios com tensões efetivas de até 300 kPa, foram executados no equipamento da marca Geonor e, ensaios com tensões efetivas maiores que 300 kPa foram realizados utilizando o equipamento triaxial de altas tensões (TriAP) desenvolvido junto ao Laboratório de Engenharia Geotécnica e Geoambiental (LEGG) da UFRGS.

3.2.3.1. Preparação dos corpos de prova

Para os ensaios triaxiais de rejeito de zinco, utilizou-se corpos de prova moldados com o auxílio de um molde bipartido, com dimensões de 100 mm de altura e 50 mm de diâmetro. O procedimento de compactação seguiu a metodologia de subcompactação proposta por Ladd (1978), como descrito a seguir.

- Método de subcompactação (Ladd, 1978)

A subcompactação é um método de compactação estática desenvolvido por Ladd (1978) para reduzir a segregação dos grãos do solo e obter corpos de prova com densidade relativamente uniforme. O método foi desenvolvido para superar a não uniformidade produzida pela compactação em camadas nas quais a compactação de cada camada subsequente pode densificar ainda mais a areia abaixo dela.

A amostra é preparada em um molde interno dividido dentro de uma membrana conectada à base da configuração triaxial ou diretamente em um molde externo. No último caso, o molde divisório externo é mais fácil de usar do que um molde do qual a amostra precisa ser

extrudada. No entanto, muitos solos com finos podem ter força suficiente devido às forças capilares a serem extrudadas e fixadas na base triaxial sem qualquer perturbação significativa na estrutura do solo. Simplificadamente, o método consiste nas seguintes etapas:

1. Ajustar o teor de água do material seco ao ar para que o grau inicial de saturação do material compactado fique entre 20% e 70%. A secagem do material não é recomendada. Quanto menor a porcentagem de finos no material, menor o grau de saturação necessário. O material deve ser misturado com água cerca de 16 h antes de ser usado;
2. Determinar o teor médio de água do material preparado usando um mínimo de duas determinações;
3. Montar e verificar todo o equipamento necessário para ser usado na preparação da amostra de teste;
4. Selecionar o número de camadas a serem usadas na preparação da amostra. A espessura máxima das camadas não deve exceder 25 mm. Camadas com uma espessura de cerca de 12 mm são recomendadas;
5. Pesar a quantidade de material necessária para a camada e colocá-lo em um recipiente fechado;
6. Usando a haste de calcamento, guiada pelo conjunto de haste de compactador, compacta a superfície do material (depois de nivelada) em um padrão circular, começando na periferia do molde e trabalhando em direção ao centro do molde. Inicialmente, uma força de compactação leve deve ser usada para distribuir e assentar o material uniformemente no molde. A força deve então ser aumentada gradualmente até que o colar de referência atinja uniformemente a parte superior do conjunto guia da haste de calcamento. Em seguida, escarifique a superfície compactada até uma profundidade igual a cerca de um décimo da espessura da camada.
7. Repetir a etapa 6 até alcançar a última camada. Durante a compactação da última camada, a haste de calcamento deve ser usada até que a superfície do material compactado seja cerca de 0,4 mm maior do que o necessário. Em seguida, para

amostras preparadas em um molde divisor externo, coloque o conjunto do espaçador na posição e bata levemente com um martelo de borracha até que esteja assentado. Para amostras preparadas com o molde dividido interno, coloque a tampa superior e a pedra porosa diretamente no corpo de prova. A tampa superior deve ser presa ao pistão de carregamento, que, por sua vez, deve ser guiado pela bucha localizada no topo da célula triaxial. Em seguida, bata levemente o pistão de carga com um martelo de borracha até que o material compactado atinja a altura prescrita. O procedimento assegura que haja alinhamento adequado e assentamento na tampa superior em relação à amostra e ao mecanismo de carregamento da célula triaxial.

Seguindo o método descrito de Ladd (1976), o rejeito, previamente seco, foi preparado com uma umidade em torno de 20%, a fim de facilitar o processo de compactação. Em seguida, o material necessário para moldagem de um corpo de prova foi dividido em cinco camadas iguais.

Como esquematizado na Figura 3.6, na etapa de compactação, a membrana de látex, utilizada nos ensaios triaxiais e já devidamente marcada com as alturas das cinco camadas, foi inserida no molde e, vedando as laterais, aplicava-se uma pressão de vácuo para que a membrana ficasse bem aderida ao molde. Em seguida, inseria-se a quantidade de material referente à primeira camada e compactava-se manualmente até atingir a altura requerida. Feito isso, realizava-se a escarificação da camada e colocava-se o material referente a segunda camada seguido da compactação. O procedimento era repetido sucessivamente até que a altura final do corpo de prova fosse atingida. O molde só era retirado após a inserção do corpo de prova sob a prensa triaxial e aplicação de uma sucção no valor em torno de 5kPa (Figura 3.7).

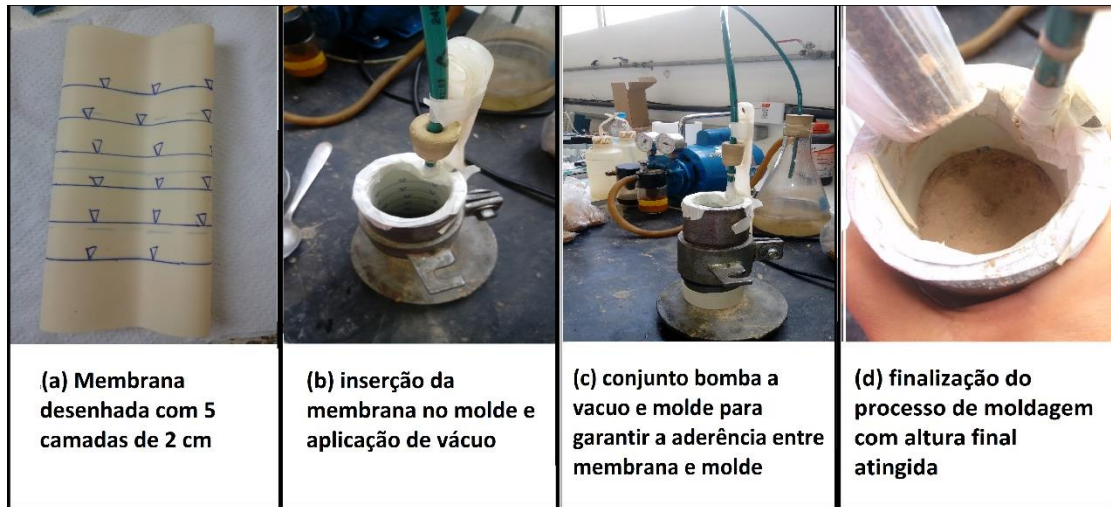


Figura 3.6: Etapas de moldagem do CP de zinco

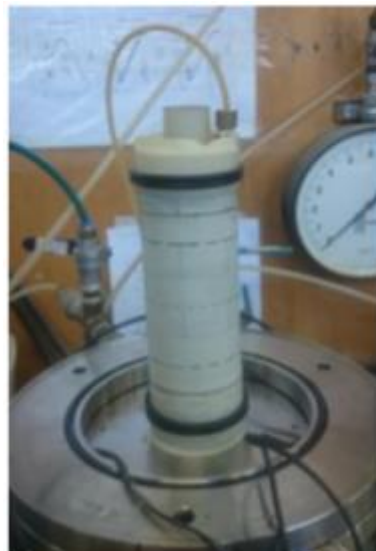


Figura 3.7: Retirada no molde após o CP já acoplado ao equipamento

A partir desse método de reconstituição da amostra, pressupõe-se que sob baixas tensões de compactação não ocorre quebra de grãos e o estado de consistência fofa alcançado é representativo quanto as condições de campo.

3.2.3.2. Triaxial Geonor

O equipamento da marca Geonor (Figura 3.8) apresenta controle de deformações internas a partir de sensores de efeito hall e externa pelo transdutor LVDT acoplado sobre a câmara, como será melhor discutido adiante. Adicionalmente, o equipamento monitora as poropressões e pressões confinantes atuantes no corpo de prova através de dois transdutores de pressão instalados na base da câmara triaxial, calibrados linearmente para um intervalo de 500 kPa de pressão e resolução de 0,1 kPa. Tanto as pressões de confinamento quanto as de contrapressão são aplicadas a partir de um pistão que opera por uma interface água-óleo e adição de pesos na base (Figura 3.9). Dessa forma, a aplicação das pressões é feita de forma manual adicionando pesos na base e ajustando o curso do pistão pelas “engrenagens”.

A carga axial aplicada ao corpo de prova é medida através de uma célula de carga externa à câmara com capacidade de 10kN e resolução de 0,005kN. Já as deformações axiais sofridas pelo corpo de prova durante o ensaio são monitoradas através de dois sistemas independentes. As deformações iniciais são captadas através de um sistema interno de medição com três sensores de efeito hall, dois acoplados no corpo de prova na direção vertical de forma a controlar as deformações verticais e um acoplado em torno do diâmetro do corpo de prova para controle das deformações radiais. Como já citado, o segundo sistema é o de monitoramento de deformações externas, importante para o controle das deformações a partir do momento em que o corpo de prova se deforma além do curso dos sensores de efeito hall. Este sistema é composto por um transdutor de deslocamento linear posicionado sobre a câmara, com resolução menor do que 10 μm .

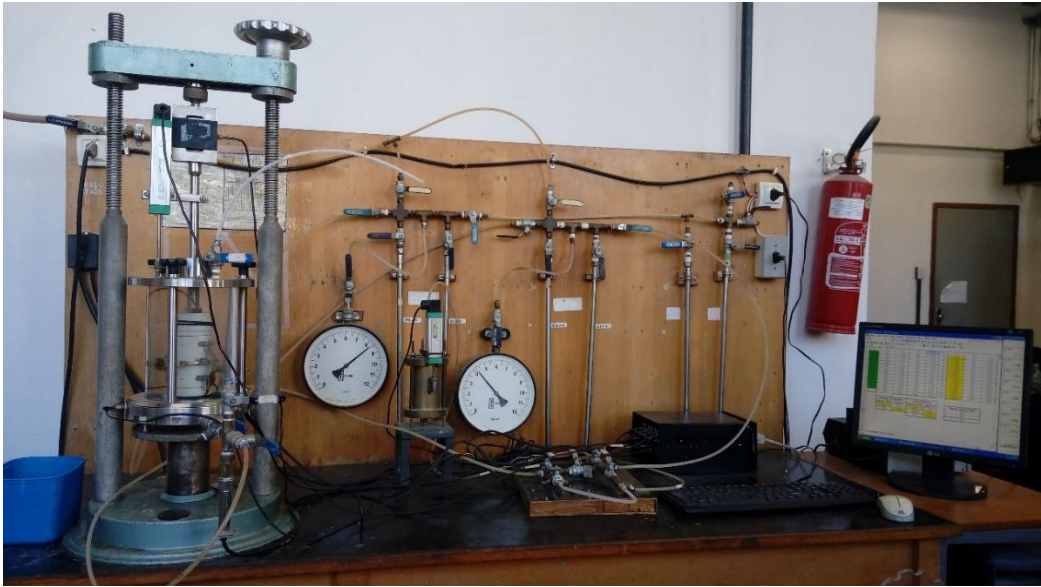


Figura 3.8: Equipamento triaxial da marca Geonor do Laboratório de Engenharia Geotécnica e Geo-ambiental (LEEG).



Figura 3.9: Sistema aplicador de tensões do Geonor

O procedimento de ensaio seguiu as etapas descritas pela norma BS 1377 (1990). Inicialmente, o CP era submetido à saturação por percolação com tensão efetiva em torno de 20 kPa. Esta etapa tem o objetivo de preencher o máximo dos vazios da amostra com água. A percolação era feita até que percolasse um volume referente a 2x o volume do CP ou passadas 24h. Em seguida, iniciava-se o processo de saturação por contrapressão. Nesta etapa, aplicava-se valores de contrapressão de modo a se atingir parâmetro B mínimo de 0,9 (SKEMPTON, 1954). A contrapressão máxima aplicada era de 420 kPa, em incrementos de 20 kPa, igualmente acrescidos à tensão confinante do corpo de prova. Em todos os ensaios, tomou-se o cuidado de saturar até atingir contrapressão maior que 400 kPa a fim de garantir a real saturação da amostra, uma vez que, segundo Head (1998), o ar atmosférico se solubiliza em pressões maiores que 400 kPa. Esta afirmação também foi observada durante o ensaio pela medição do parâmetro B, que se aproximava de 1 quando alcançado tal nível de contrapressão.

Finalizada a etapa de saturação realizava-se a consolidação do corpo de prova, aplicando um acréscimo de tensão confinante no valor determinado para se obter a tensão efetiva desejada. No Geonor este acréscimo é realizado de forma instantânea o que, conseqüentemente, gerava um acréscimo de poro pressão. Logo, na etapa de consolidação, monitorava-se a contrapressão até que a poro pressão se dissipasse e seu valor regressasse para o valor do final da saturação (~400 kPa), mantendo o valor da confinante. Dessa forma, ao alcançar a tensão efetiva desejada, o cisalhamento dos corpos de prova era realizado em condição não-drenada sob uma velocidade constante de 5mm/h.

3.2.3.3. Triaxial de Altas Tensões (TriAP)

O equipamento Triaxial de Altas Tensões (TriAp), mostrado na Figura 3.10a e Figura 3.10b foi desenvolvido no próprio LEGG na tese de Marques (2016) e, apesar de projetado para se chegar a tensões de até 10MPa, devido a problemas de vedação da câmara, as tensões de estudo foram limitadas a 4MPa. O sistema conta com monitoramento de tensões por meio de dois transdutores de pressão para controle da contrapressão (base e topo) e outro transdutor de pressão controlando a tensão confinante.

Além disso, o sistema de aplicação de tensões é composto por aplicadores de pressão automáticos tipo GDS (Figura 3.10c). O equipamento possui dois GDS responsáveis por comprimir a água, porém um para aplicação da contrapressão do corpo de prova (água destilada

proveniente do reservatório) e outro com a função de aplicar tensão de confinamento (água da canalização externa).

Adicionalmente, as deformações são monitoradas a partir de dois sistemas distintos. Similar ao Triaxial Geonor, existe um sistema interno, composto por dois sensores de efeito hall na direção axial e um radial, e um sistema de monitoramento externo composto por um transdutor de deslocamento linear (LVDT) acoplado sobre a câmara. A célula de carga, posicionada externamente sobre o pistão, tem capacidade de 5 toneladas e resolução de 0,03%.



Figura 3.10: (a e b) Equipamento TriAp - LEGG/UFRGS. (c) GDSs do TriAp

O sistema de aquisição de dados é composto por uma placa de aquisição controlada pelo *software* programável LabView 2013. Marques (2016) desenvolveu um *software* para automatização do procedimento do ensaio triaxial, necessitando a presença do operador apenas para manipular a abertura e fechamento de válvulas do equipamento e para verificar e corrigir o curso dos GDS, evitando que os mesmos alcancem seus limites. (Figura 3.10c).

As etapas de ensaio são semelhantes às descritas para o Triaxial Geonor. Os ensaios aqui realizados também foram com corpos de prova cilíndricos com dimensões de 5x10cm; saturados e consolidados isotropicamente. A diferença mais relevante é que nesse equipamento as amostras foram consolidadas até altas tensões efetivas (1000, 2250 e 3500 kPa) e então, cisalhadas.

Os três transdutores de pressão foram calibrados in loco até altas tensões (10MPa) pela empresa NOVUS; a célula de carga foi calibrada no próprio laboratório LEGG com o auxílio de um anel dinamométrico de 10MPa e, os três sensores de efeito hall (2 axiais e 1 radial) além do transdutor de deslocamento linear (LVDT) foram calibrados na bancada com o auxílio de um calibrador manual (Figura 3.11).

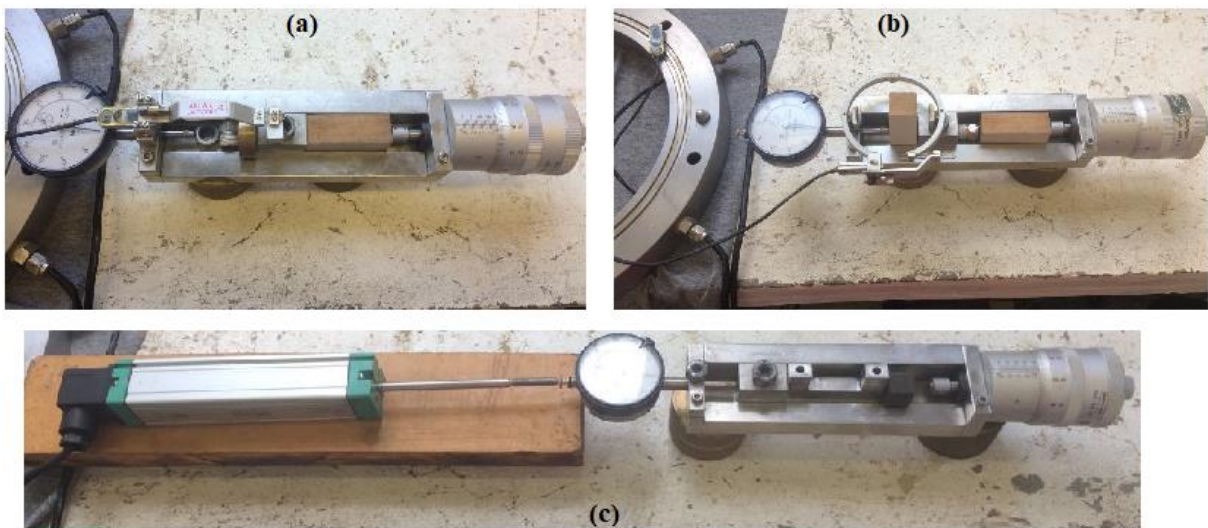


Figura 3.11: Calibração dos sensores de efeito Hall (a e b) e LVDT (c)

Em seguida, foram realizados vários ensaios testes com corpos de prova de areia cimentada, a fim de testar o equipamento como um todo e os procedimentos de cada uma das etapas envolvidas.

Tais etapas englobam o posicionamento e instrumentação do corpo de prova, montagem de todo o equipamento, abertura e fechamento de válvulas e, controle das tensões de contrapressão e poro pressão durante o ensaio.

Iniciada a campanha de ensaios com rejeito de mineração de zinco sob altas tensões de confinamento, foram realizados dois ensaios com tensão efetiva de 1000 kPa. A deformação

axial máxima atingida nestes ensaios foi de apenas 12% a 17%. Essa limitação se deu devido ao tamanho do curso do pistão de compressão e devido ao material ser de alta compressibilidade, reduzindo significativamente de altura durante a etapa de consolidação. Neste contexto, a alternativa implantada para se alcançar maiores deformações no cisalhamento, foi agregar ao sistema um cabeçote adicional na extremidade do pistão interna à câmara, aumentando o curso do pistão. Feito isso, nos ensaios seguintes foi possível atingir deformações axiais maiores que 30%, como será discutido na Seção 4.3.

3.3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os ensaios de caracterização (granulometria, massa específica real dos grãos e limites de Atterberg) e ensaios de compressão triaxial foram realizados no Laboratório de Engenharia Geotécnica e Geo-ambiental (LEEG) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Já os ensaios de microscopia elementar foram realizados em conjunto com o Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER), também da UFRGS. A relação dos ensaios realizados foi sintetizada na Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Programa Experimental

PROGRAMA EXPERIMENTAL			
MATERIAL	ETAPA	ENSAIO	QUANTIDADE
Rejeito de Zinco	Caracterização dos materiais	Granulometria por sedimentação	1
		Massa específica real dos grãos	2
		Limite de Plasticidade	1
		Limite de Liquidez	1
	Análise físico-mineralógica	DRX	2
		FRX	2
	Comportamento Tensão-deformação, resistência ao cisalhamento	Triaxial CIU (Geonor)	4
		Triaxial CIU (TriAP)	4

Após cisalhamento (sob tensões maiores ou iguais a 400 kPa)	Granulometria por sedimentação	3
---	--------------------------------	---

O ensaio de massa específica real dos grãos (Gs) foi realizado em duplicata para se obter uma faixa de variação de Gs, uma vez que pode haver grande variabilidade dentre o mesmo tipo de rejeito de mineração. Já os ensaios de caracterização química, FRX e DRX, foram feitos em duas amostras diferentes com o intuito de se obter uma média de valores. Adicionalmente, os ensaios triaxiais CIU (baixas tensões) se diferenciam pela tensão efetiva em que cada um foi ensaiado, sendo elas: 20, 60, 100, 275 e 400 kPa. Os ensaios triaxiais CIU (altas tensões), por vez, envolvem 2 ensaios cisalhados até baixo nível de deformação ($12% < \epsilon_a < 17%$) com efetiva de 1000 kPa, sendo um deles com pontos de descarregamentos e; 3 outros ensaios sob altas tensões e alto nível de deformação ($\epsilon_a > 20%$), com efetiva de 1000, 2500 e 4000 kPa, como esquematizado na Tabela 4-2.

Por fim, foram realizados ensaios de granulometria por sedimentação após o cisalhamento nas amostras ensaiadas em tensão efetiva de 1000, 2500 e 4000 kPa para análise de ocorrência de quebra de grãos.

4. RESULTADOS E ANÁLISE DO REJEITO DE ZINCO

4.1. CARACTERIZAÇÃO BÁSICA

4.1.1. Granulometria por sedimentação

A determinação da curva de granulometria do rejeito de mineração de zinco foi realizada segundo os procedimentos da NBR 7181/2017. Uma vez que todo o material foi passante na peneira 10 de 2 mm, a granulometria foi definida pelo ensaio de sedimentação e peneiramento fino, obtendo as curvas expostas na Figura 4.1. A partir destas é possível observar que o rejeito de mineração de zinco varia entre um material silto-arenoso e areno-siltoso, chegando a apresentar 84,5% passante na peneira #200 (0,075mm).

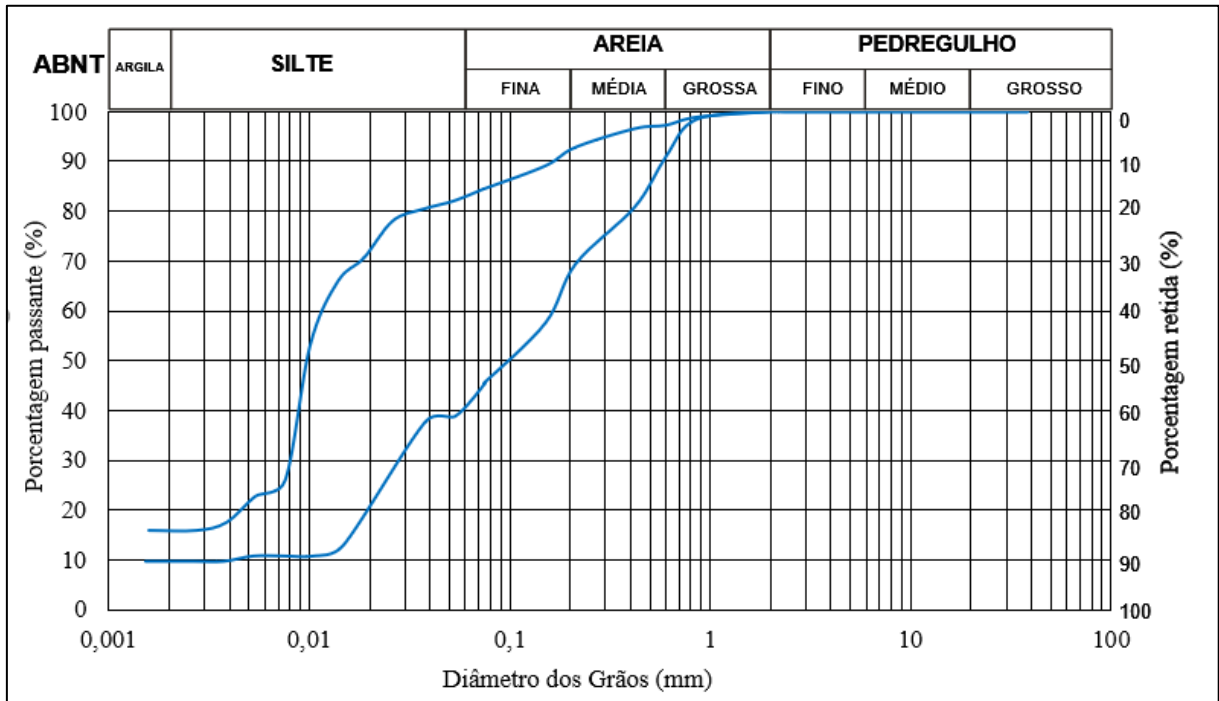
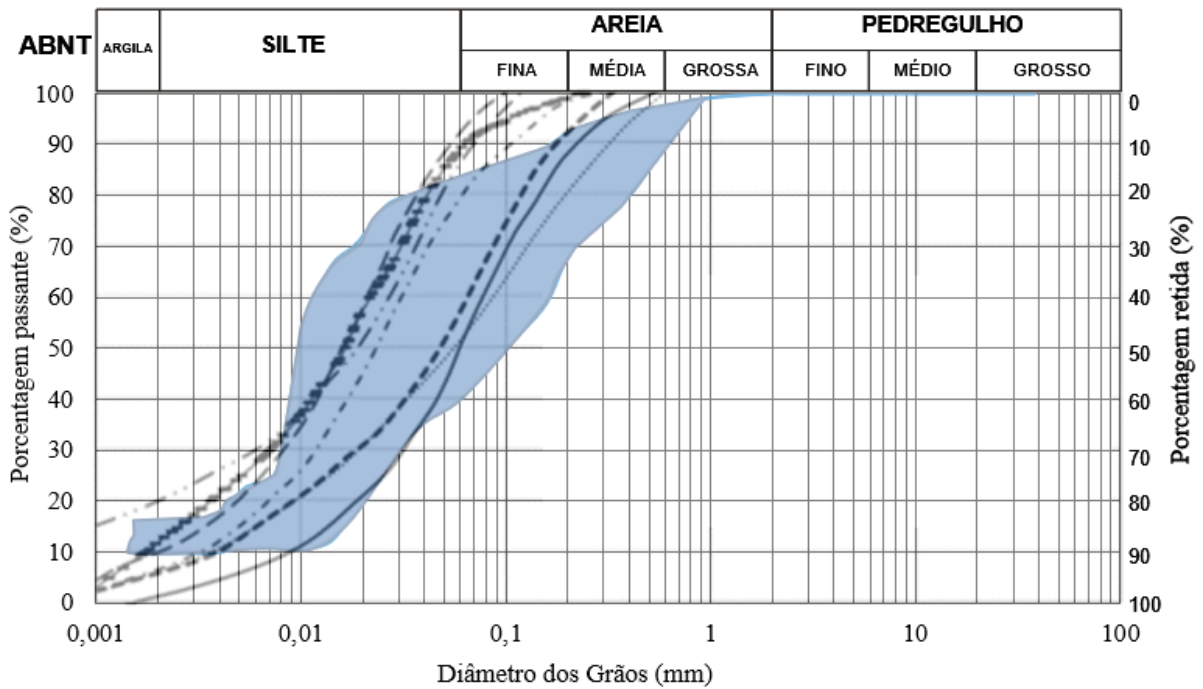


Figura 4.1: Faixa granulométrica da amostra de rejeito de zinco

Ao comparar a faixa granulométrica encontrada para o rejeito de zinco em estudo e as curvas propostas por Vick (1983) para diferentes fontes do mesmo tipo de rejeito, observa-se o material amostrado apresentou faixa mais extensa, ora com maior fração arenosa, ora com maior fração siltosa. Também é possível perceber que as curvas do rejeito analisado são menos homogêneas que as plotadas por Vick, o que pode ser justificado pelos diferentes processos de lavra, beneficiamento e disposição do material.



4.1.2. Limites de Atterberg

Os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade seguiram os procedimentos prescritos nas normas NBR 7180/2017 e NBR 6459/2017 respectivamente. Durante os ensaios, ao adicionar água na amostra, notava-se a ocorrência de uma reação exotérmica aumentando a temperatura da mistura rejeito/água que com o passar do tempo ficava com consistência mais enrijecida, apesar do alto teor de umidade. Este comportamento dificultou a realização dos ensaios de consistência, que foram cuidadosamente feitos com maior agilidade a fim de não sofrer grande interferência das reações ao longo do tempo. Neste sentido, na terceira tentativa foram encontrados valores com pequena dispersão, sendo determinado o valor do limite de plasticidade igual a 59,53% e do limite de liquidez igual a 61,75% (Figura 4.2). Logo, o Índice de Plasticidade (IP) encontrado para o material foi de apenas 2,22%, mostrando que o material tem plasticidade muito baixa.

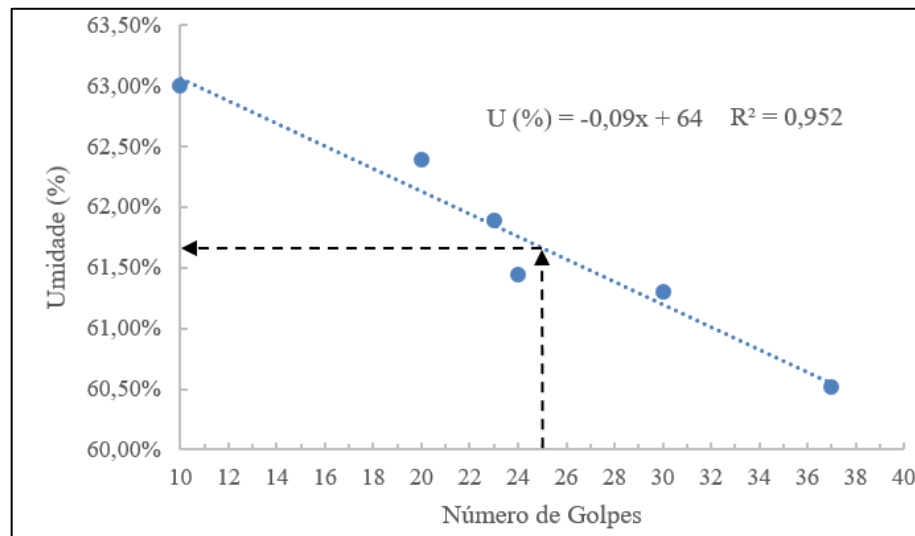


Figura 4.2: Curva para determinação do Limite de Liquidez do rejeito de zinco.

A partir da determinação da faixa de variação da granulometria e dos limites de consistência, o material amostrado pode ser classificado pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) variando entre os grupos SF – Areias siltsas, misturas mal graduadas de areia e silte a MH-Siltes inorgânicos, micáceos ou diatomáceos, finos arenosos ou solos siltsos, siltes elásticos de alta compressibilidade ($LL > 50\%$).

Hlenka (2012) discute que ao realizar os ensaios de limites de consistência seguindo a ordem inversa dos procedimentos propostos pela NBR 7180/2017 e NBR 6459/2017, o que significa que, ao invés de adicionar água ao material seco, os ensaios foram realizados com o material em estado de lama, secando as amostras até atender aos requisitos estabelecidos pela norma. A partir desse método, determinou-se LL igual a 68% e LP igual a 44%, com índice de plasticidade (IP) igual a 22% (HLENKA, 2012).

Comparando os valores de IP obtidos no presente trabalho (2%) e o obtido por Hlenka (2012) pelo método reverso (22%) nota-se uma expressiva diferença, que pode ser relacionada às reações exotérmicas observadas ao adicionar água na amostra durante o procedimento tradicional, uma vez que no processo reverso não foram relatadas tais reações, como será melhor discutido na seção 4.2.2.

4.1.3. Massa específica dos grãos

A determinação da massa específica dos grãos (Gs) de rejeito de mineração de zinco seguiu os procedimentos descritos na NBR 6508/2017. O tempo de agitação e aplicação de vácuo em banho maria foi de 30 min por estágio, o dobro do mínimo recomendado pela norma, para se obter a máxima remoção do ar aderente às partículas. Foram feitos dois ensaios seguindo os mesmos passos e foram obtidos os valores de 3,10 e 3,27, com média de 3,19.

4.2. MICROSCOPIA ELETRÔNICA E ELEMENTAR

4.2.1. Ensaios de Fluorescência (FRX)

Realizou-se os ensaios de raio-X por fluorescência (FRX) no LACER/UFRGS. O ensaio de FRX permite identificar quantitativamente os elementos presentes no material amostrado. No atual trabalho foram ensaiadas 2 amostras, sendo obtida a média da composição química quantitativa do rejeito de zinco (Tabela 4-1). Para o rejeito de zinco, além dos componentes tabelados, algumas amostras também apresentaram em pequena concentração (<1,00%) elementos como: As, Sb, Mn, Ba e Ti. Percebe-se que 34,20% do material ensaiado era composto por enxofre (S). Essa grande concentração de enxofre no rejeito de zinco é proveniente do processo RLE (*Roasting, Leaching and Electrolysis*) (Figura 2.5) para tratamento dos concentrados de zinco com elevados teores de sílica, cálcio, ferro e cobre (SOUZA, 2007).

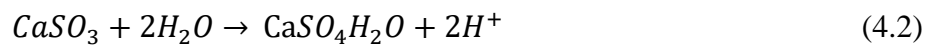
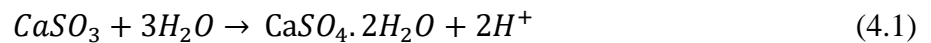
Tabela 4-1: Ensaio de Fluorescência do rejeito de zinco

RESULTADOS QUANTITATIVOS	
ANÁLISE	RESULTADO (%)
SO ₃	34,20
Fe ₂ O ₃	28,08
CaO	15,83
ZnO	10,92
PbO	5,96
Al ₂ O ₃	1,43
CuO	1,40
SiO ₂	0,46
SrO	0,43
K ₂ O	0,32
MgO	0,12

4.2.2. Ensaio de Difractometria (DRX)

Foram realizados dois ensaios de difratometria por raio-X (DRX) em 2 amostras de rejeito de zinco pelo LACER/UFRGS, em que ambos os ensaios apresentaram mesmos resultados (Figura 4.3). A partir do método de Relação de Intensidade de Referência – *Reference Intensity Ratio* (RIR) – foi possível estimar quantitativamente a composição do material, pelo qual se indicou que o rejeito de zinco é essencialmente composto por sulfato de cálcio (CaSO₄) (40,4%), sulfito de zinco (ZnS) (21,2%), katoite (Ca₃Al₂O₆) (15,2%), sulfato de chumbo (PbSO₄) (11,1%), magnetita (Fe₃O₄) (7,1%) e óxido de chumbo (PbO) (5,1%).

Combinando os resultados obtidos pelo FRX e DRX, nota-se que o enxofre está presente na forma de sulfato de cálcio, sulfito de zinco e sulfato de chumbo. O sulfato de cálcio quando hidratado pode se apresentar em 3 diferentes formas (Equações 4.1, 4.2 e 4.3): sulfato de cálcio bihidratado (gipsita) ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), a partir de uma reação exotérmica acidificando o meio e; basanita, sulfato de cálcio hemi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), que é formado sem liberação de calor. A basanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) ocasiona um processo de hidratação chamado de “falsa pega”, levando a ocorrência de enrijecimento prematuro e impactando na trabalhabilidade do material, assim como ocorre no concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2006). Este comportamento está diretamente relacionado com o observado nos ensaios de caracterização, em que ao adicionar água destilada, o material reage perdendo trabalhabilidade e consistência (Seção 4.1).



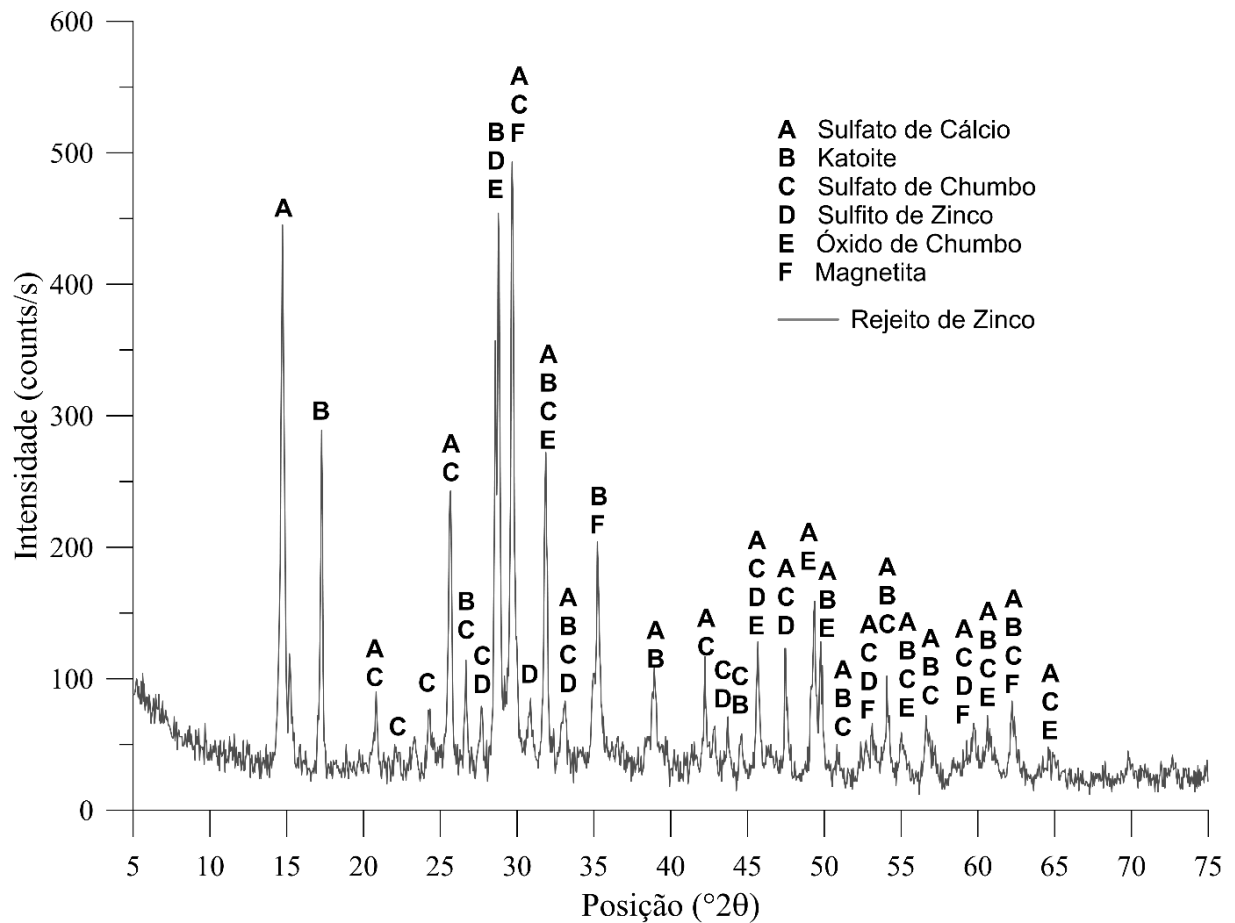


Figura 4.3: Ensaio Difratométrico do rejeito de zinco.

4.3. ENSAIOS TRIAXIAIS CIU

Como um dos principais objetivos desse trabalho é a análise geomecânica dos rejeitos de zinco em diferentes tensões efetivas, foram realizados ensaios triaxiais com corpos de prova moldados com rejeito de zinco variando as tensões efetivas (p_0') de 20 a 4000 kPa, conforme esquematizado na Tabela 4-2.

Os procedimentos de ensaio estão descritos na seção 3.2.3.

Tabela 4-2: Resumo dos ensaios triaxiais realizados com rejeito de zinco.

Ensaio	e_i	e_f	p_o' (kPa)	q_{pico} (kPa)	Δu_{max} (kPa)
01	2,976	2,965	20	84,97	14,78
02	3,002	2,944	60	108,90	63,00
03	2,612	2,573	75	171,08	55,74
04	3,075	2,761	275	349,40	191,59
05	3,083	2,804	330	356,76	327,66
06	3,142	2,554	1000	950,10	574,37
07	3,042	2,306	2500	2426,64	2488,52
08	2,973	2,196	4000	3348,66	2926,45
09⁽¹⁾	2,699	2,679	1000	867,44	485,83
10^{(1) (2)}	2,686	2,539	1000	1001,18	535,15
11⁽¹⁾	2,784	2,696	2250	2088,77	750,39

(1) Ensaios realizados com deformação axial máxima menor que 20%;

(2) Ensaio com dois pontos de descarregamento.

Os ensaios 1 ao 4 foram realizados no equipamento Triaxial Geonor, apresentado na Seção 3.2.3.2 e os ensaios 5 a 11 foram executados no equipamento Triaxial de Altas Tensões (TriAP), apresentado na Seção 3.2.3.3.

As próximas seções apresentam os resultados obtidos nas etapas de consolidação isotrópica e de cisalhamento monotônico até altas tensões efetivas.

4.3.1. Linhas de Consolidação Isotrópica

Uma vez que os ensaios triaxiais realizados foram todos saturados e consolidados isotropicamente, é possível plotar no plano $v : \ln(p')$ a evolução do volume específico (v)

durante a consolidação nos 11 ensaios CIU realizados, como na Figura 4.4. Para diferentes valores do volume específico inicial, v_i , variando entre 3,62 e 4,14, existem diferentes curvas de compressão isotrópica aproximadamente lineares e quase paralelas ao eixo p' para valores de tensão abaixo de 100 kPa. Porém, para tensões maiores que 100 kPa em amostras com v_i entre 3,97 e 4,14, observa-se uma tendência de unificação da LCI com um gradiente consideravelmente mais elevado, caracterizando um comportamento similar ao que ocorre em areias (item 2.5.1).

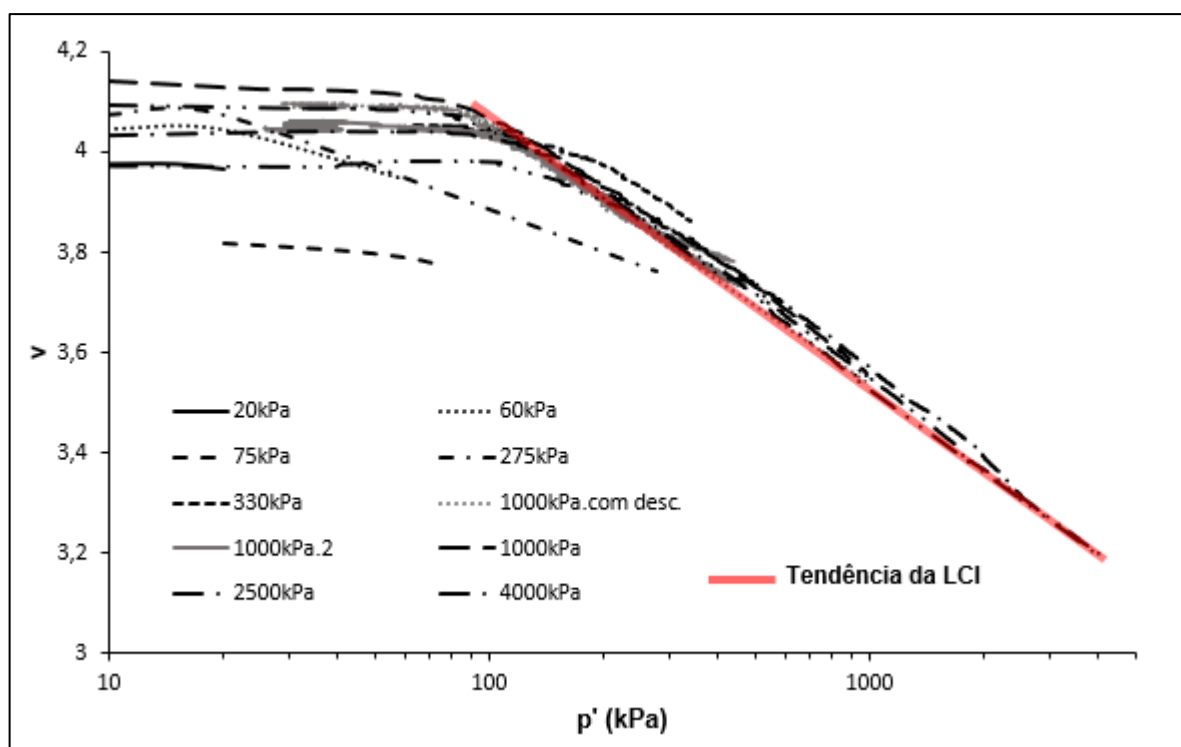


Figura 4.4: LCI para todos os ensaios e tendência da LCI para tensões efetivas finais maiores que 100 kPa.

Como abordado na seção 2.5, a linha de consolidação isotrópica (LCI) pode ser expressa pela equação 2.9:

$$v = N - \lambda \ln p' \quad (2.9)$$

Onde N é o valor de v para $p' = 1\text{kPa}$ e λ é o valor do gradiente da LIC.

A partir do prolongamento da LCI traçado na Figura 4.5, tem-se que $N = 5,17$ e a inclinação da reta LCI (λ) é igual a 0,240.

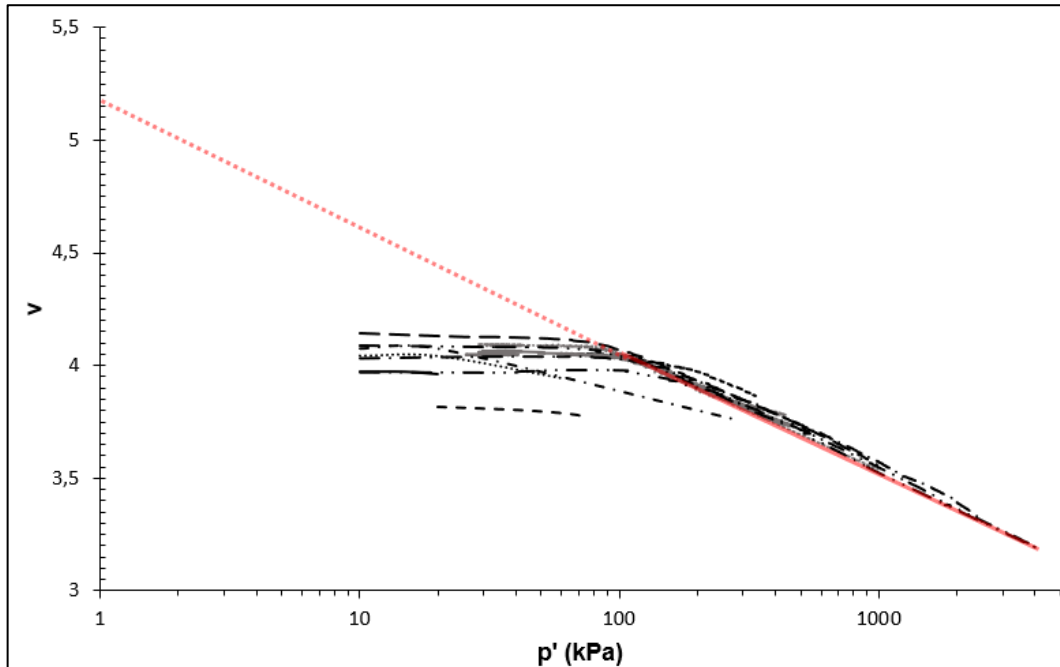


Figura 4.5: Prolongamento da LCI para determinação de N.

Logo, para $3,97 \leq v_0 \leq 4,14$, tem-se que a LCI pode ser definida pela equação:

$$v = 5,17 - 0,240 \ln p'$$

A nível de comparação, Bedin (2010) ao analisar as curvas de adensamento de resíduos de bauxita, como lama vermelha e areia vermelha, encontrou N igual a 1,51 e 1,79 e λ de 0,093 e 0,071, respectivamente. Nota-se que os parâmetros encontrados para o rejeito de zinco excedem muito os de resíduos de bauxita. Esta diferença pode ser justificada pelo rejeito de zinco ser um material com finos mais compressíveis e as amostras de zinco ensaiadas terem maior índice de vazios inicial. Enquanto Bedin analisou amostras com $e_i = 1,72$, no presente estudo foram moldadas amostras de rejeito de zinco com $2,78 \leq e_i \leq 3,14$.

4.3.2. Comportamento tensão-deformação

Conforme relacionados na Tabela 4-2, foram realizados 05 ensaios sob tensões efetivas abaixo de 400 kPa. Os ensaios 01 a 04 foram realizados no equipamento Geonor e os ensaios 05 a 11 foram executados no Equipamento TriAP. Todas as amostras foram cisalhadas em condição

não drenada, sendo que os ensaios 01 a 08 atingiram taxas de deformação axial maiores que 20%, enquanto os ensaios 09 a 11 não atingiram 20% de deformação, mas tiveram seus resultados compilados em vis de comparação.

Os dados brutos dos 11 ensaios de cisalhamento considerados estão em anexo na seção 7.ANEXOS.

4.3.2.1. Curvas tensão-deformação e poro pressões

As curvas tensão desvio (q) e excesso de poropressão (Δu) em função da deformação axial (ϵ_a) são apresentadas na Figura 4.6. A partir dos resultados, percebe-se que o aumento da tensão efetiva inicial de cada ensaio implicou no incremento da tensão desvio e do excesso de poropressão gerado. Nos primeiros 3% de deformação axial, tanto a tensão desvio como a poro pressão alcançaram valores de pico. Em seguida, as amostras continuaram a se deformar mantendo o valor de q próximo ao valor máximo atingido, exceto nos ensaios 05 e 06, amostras de 275 e 1000 kPa, os quais apresentaram um pico pouco pronunciado da tensão desvio, estabilizando em um valor de q menor que q_{pico} .

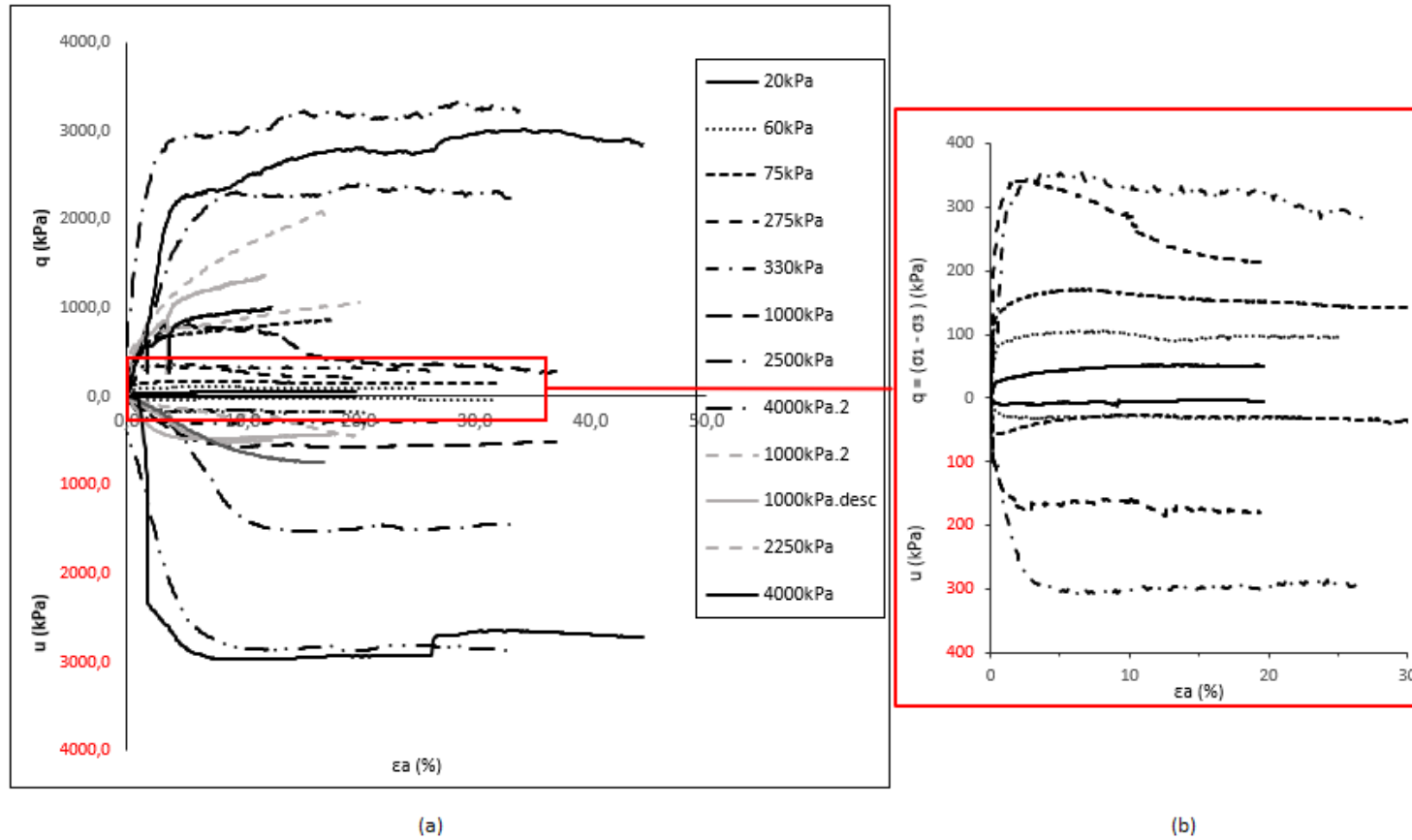


Figura 4.6: a) Tensão-deformação e poro pressões. b) Escala aumentada para $p_o' < 400$ kPa.

4.3.2.2. Normalização das curvas tensão-deformação

Ao normalizar as curvas q e Δu pela tensão efetiva p_0' (Figura 4.7) é possível investigar o valor do parâmetro M do estado crítico do rejeito de zinco (Equação 2.14). Nota-se que ao atingir grandes deformações ($\epsilon_a > 18\%$) as curvas q/p_0' tendem a valores divergentes. Plotando os dados de M último para cada p' último (Figura 4.8), observa-se que a variação do parâmetro M segue uma relação logarítmica com p' , na qual com o aumento da tensão efetiva o parâmetro M tende a se estabilizar em torno de 1,18.

Ainda na Figura 4.8, foram destacados dois pontos fora da curva, que correspondem aos ensaios 06 e 11. Em relação à amostra 11, percebe-se que quando interrompido o cisalhamento, ela ainda não havia alcançado um estado de tensões constante, podendo-se inferir que este ensaio não atingiu o estado crítico.

Já o ensaio 06, amostra de 1000 kPa, como já discutido na seção anterior, apresentou perda de resistência após atingir seu pico combinado com decréscimo da resistência residual mesmo após sofrer mais de 30% de deformação axial. Este comportamento atípico, pode estar relacionado a relação do índice de vazios inicial (e_i) com a tensão efetiva final de consolidação, uma vez que este CP foi o que apresentou maior valor de e_i (3,142) dentre as amostras analisadas e sofreu cerca de 25% da redução de seu volume inicial durante a etapa de consolidação. Esta observação sugere que a amostra 06 se comportou como um solo arenoso compacto durante o cisalhamento.

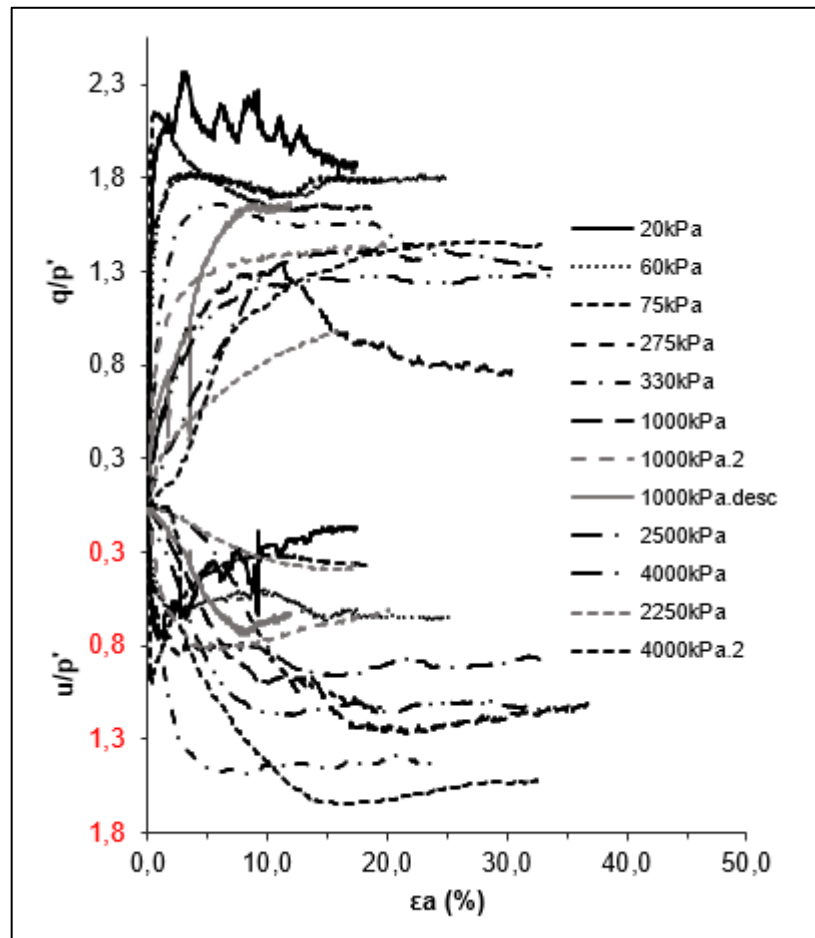


Figura 4.7: Curvas tensão-deformação e poro pressões normalizadas.

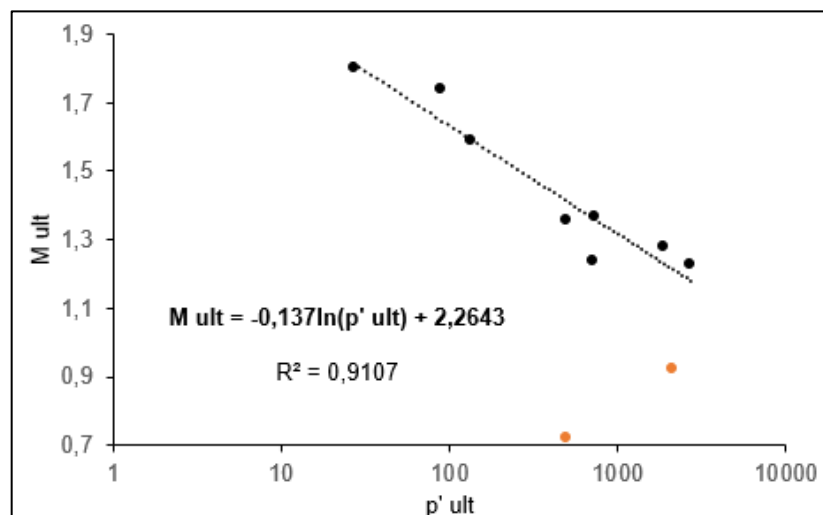


Figura 4.8: Variação do parâmetro M para diferentes p'_{ult}

Destaca-se ainda que a amostra 06 apresentou um plano de ruptura definido similar ao observado em areias (Figura 4.9a), o que corrobora com a análise do seu comportamento tensão-

deformação. Já as amostras 07 e 08, consolidadas até 2500 kPa e 4000 kPa, respectivamente, sofreram efeito barril antes de romperem ao longo de planos de ruptura (Figura 4.9b e c).

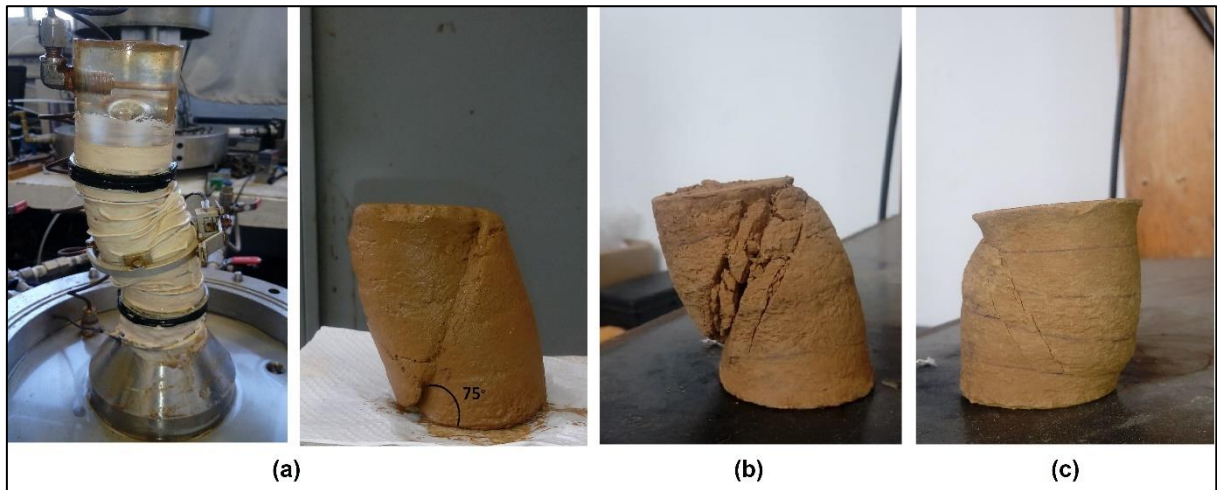


Figura 4.9: Corpos de prova cisalhados. (a) 1000 kPa (b) 2500 kPa (c) 4000 kPa.

4.3.3. Trajetória de tensões

Como discutido na seção 2.5, os parâmetros de resistência do material ensaiado podem ser obtidos a partir das trajetórias de tensões. Nesse contexto, foram plotadas as curvas com a evolução das tensões ao longo de cada ensaio no plano $p' : q$ (Figura 4.10), onde:

$$q = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \quad (2.6)$$

$$p' = \frac{1}{3}(\sigma'_1 + 2\sigma'_3) \quad (2.7)$$

Similar ao comportamento analisado na normalização das curvas de tensão-deformação, discutido no item anterior, a trajetória de tensões máximas do rejeito de zinco estudado é não-linear, ou seja, com o aumento das tensões efetivas houve variação do ângulo de atrito máximo efetivo (ϕ'). Observa-se na Figura 4.10(a) que, a trajetória traçada para o estado de tensões máximas considerando os ensaios com $p_0' \geq 1000$ kPa, apresentou $\phi' = 30^\circ$, enquanto que,

conforme apresentado na Figura 4.10(b), para $100 \text{ kPa} < p_0' < 1000 \text{ kPa}$ obteve-se $\phi' = 32,5^\circ$ e, para $p_0' < 100 \text{ kPa}$ foi obtido $\phi' = 38,7^\circ$.

Neste sentido, nota-se que a trajetória de pico sofre uma variação mais significativa no intervalo de p_0' igual a 100 kPa a 150 kPa, com ϕ' variando de $38,7^\circ$ a $32,5^\circ$. Esta mudança de comportamento com o aumento de tensões efetivas pode estar justificada devido ao rearranjo dos grãos, quebra das ligações entre partículas e quebra de grãos.

Como discutido na seção 4.2, no caso do material analisado, a mudança abrupta do comportamento na trajetória de tensões pode estar relacionada às reações químicas dos compostos de enxofre presentes no rejeito de zinco, que ao reagirem com água durante a percolação e saturação do corpo de prova, resultam na formação de sulfato de cálcio hemi-hidratado, que é um material cimentante. Dessa forma, sugere-se que ocorra a geração de uma fraca cimentação durante as etapas precedentes à consolidação isotrópica da amostra e que, durante a consolidação para tensões p_0' acima de 100 a 150 kPa, esta cimentação é quebrada. Nesse sentido, com a quebra da cimentação, para $p_0' > 150 \text{ kPa}$ o material passa a apresentar um comportamento distinto do ensaiado para tensões $p_0' < 100 \text{ kPa}$.

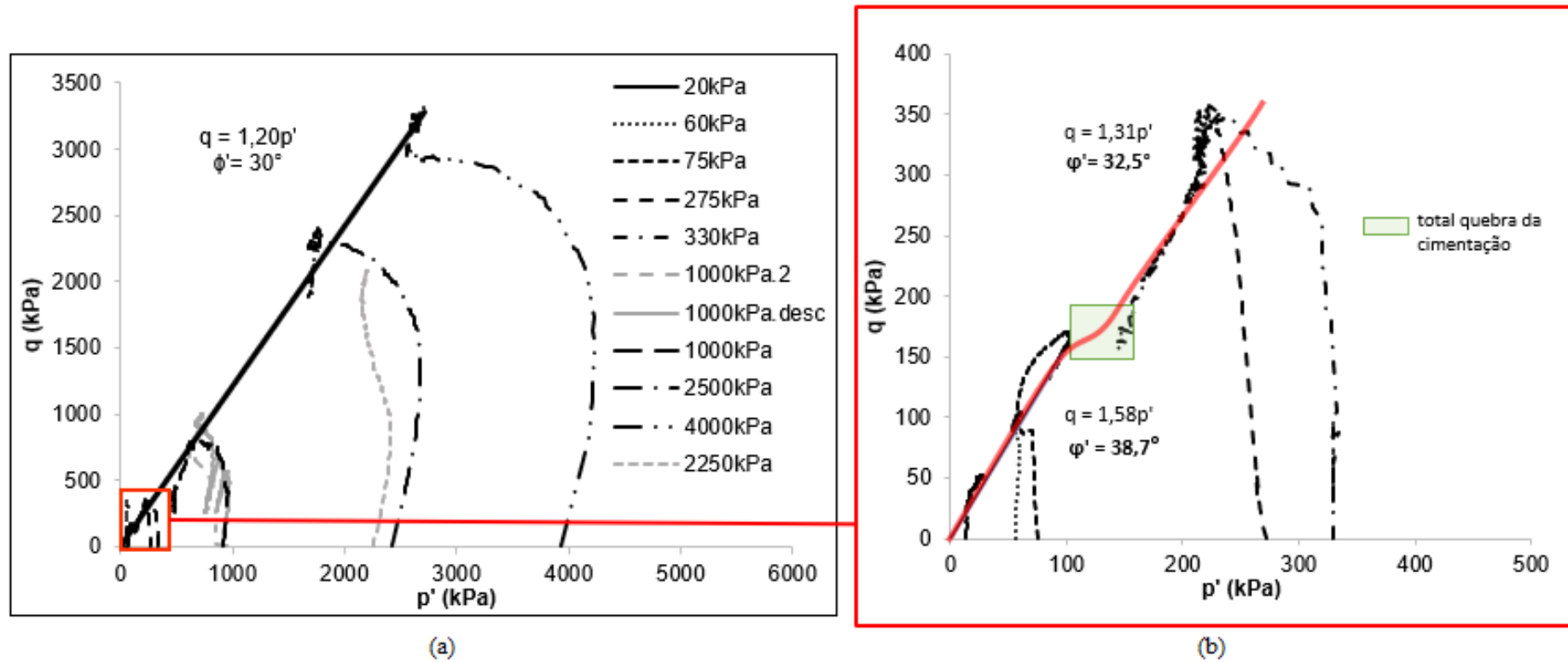


Figura 4.10: Trajetória de tensões máximas (a) $p_0' \geq 1000$ kPa. (b) $p_0' < 1000$ kPa.

Outro fenômeno que condiciona a variação de ϕ' com o aumento da tensão efetiva é a ocorrência de quebra de grãos. Conforme discutido na seção 2.5.2.2, quando o aumento das tensões efetivas gera tensões inter-partículas superiores a resistência dos grãos do material começa a ocorrer a quebra gradual das partículas, alterando, conseqüentemente, o comportamento da amostra durante o cisalhamento.

No caso do rejeito de zinco ensaiado, a variação do ϕ' observada a partir de tensões efetivas em torno de 100 kPa, sugere a ocorrência de quebra dos grãos iniciada sob baixos níveis de tensões. Embora em solos granulares compostos por sílica, o começo da quebra das partículas é observado sob altas tensões efetivas, em torno de 10.000 kPa (Coop & Lee, 1993), em solos transicionais, como a mistura de areia-caulim estudada por Murthy et al. (2007), constatou-se quantidade de quebra significativa dos grãos mesmo para tensão relativamente baixa de 100 kPa.

Dessa forma, considerando que durante o processo de geração do rejeito de zinco o material passa por etapas de desgaste químico e físico, culminando em uma mistura de solo e compostos químicos com partículas frágeis, é plausível que o rejeito de zinco apresente o início da ocorrência de quebra dos grãos sob baixas tensões efetivas, como será melhor analisado na seção 4.3.3.

Quanto à tendência de comportamento do material após atingir a trajetória de pico, não foi encontrado uma relação direta com o aumento das tensões efetivas. Porém, ao analisar a variação dos índices de vazios entre amostras, nota-se que os CPs moldados com $e_i > 3,00$ foram os que apresentaram comportamento contrátil após atingirem níveis máximos de tensão, enquanto as amostras com $e_i \leq 3,00$ dilataram. De forma comparativa, a Figura 4.11 apresenta as trajetórias de tensões das amostras 06 (1000 kPa), 09 (1000 kPa.2) e 10 (1000 kPa.desc). A partir das trajetórias, é possível perceber que, apesar das amostras terem sido cisalhadas sob mesmo nível de tensões efetivas, a amostra 06 teve comportamento contrátil, enquanto as amostras 09 e 10 dilataram com o aumento da deformação axial. Essa variação de comportamento pode ser justificada pelo fato de que a amostra 06 foi moldada com um índice de vazios inicial (e_i) de 3,142 e teve comportamento contrátil, enquanto as amostras 09 e 10 foram moldadas com e_i igual a 2,699 e 2,686, respectivamente, e tiveram comportamento

dilatante. Além disso, é importante ressaltar que, entre as três amostras analisadas, apenas a amostra 06 atingiu níveis de deformação suficientes para atingir condição de estado crítico.

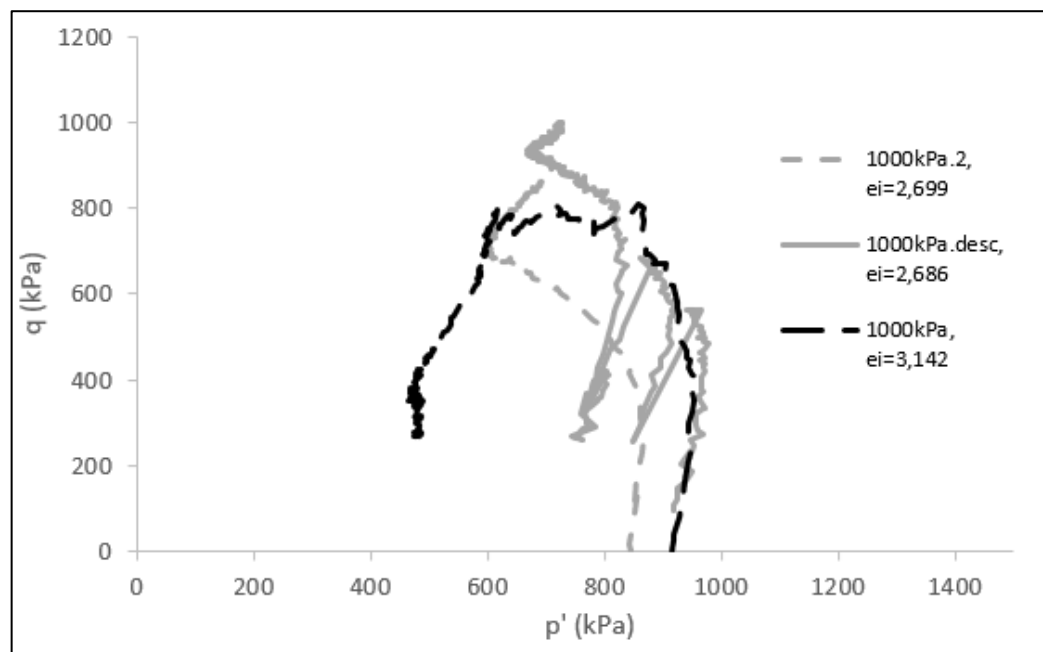


Figura 4.11: Trajetória de tensões para as amostras com p_o' em torno de 1000 kPa.

Tabela 4-3: Comportamento das amostras após atingir trajetória de pico

Ensaio	e_i	e_f	p_o' (kPa)	Comportamento após atingir trajetória de pico
01	2,976	2,965	20	Dilatante
02	3,002	2,944	60	Dilatante
03	2,612	2,573	75	Dilatante
04	3,075	2,761	275	Contrátil
05	3,083	2,804	330	Contrátil

06	3,142	2,554	1000	Contrátil
07	3,042	2,306	2500	Contrátil
08	2,973	2,196	4000	Dilatante
09	2,699	2,679	1000	Dilatante
10	2,686	2,539	1000	Dilatante
11	2,784	2,696	2250	(não atingiu trajetória de pico)

Se comparado com solos arenosos, a influência direta do índice de vazios no comportamento do material após atingir trajetória de tensões máximas é inesperado e vai contra as teorias de estado crítico em areias (seção 2.5.1), uma vez que, diferentes amostras de um material arenoso ao serem cisalhadas sob mesma tensão efetiva, tendem a ter o mesmo comportamento, contrátil ou dilatante. Porém, como discutido na seção 2.5.2, ao se tratar de solos transicionais, o comportamento da amostra é influenciado pelo seu índice de vazios inicial, de forma que, amostras de um mesmo material com densidades diferentes, podem apresentar tanto comportamento contrátil como dilatante.

Analisando o ensaio com tensões efetivas de 4000 kPa, observa-se que o material apresentou uma trajetória de tensões em formato S, revelando uma tendência de comportamento contrátil até atingir a trajetória de pico, devido ao rápido aumento da poro pressão no início do cisalhamento. Porém, a medida que a amostra continuou a ser cisalhada, o incremento de poro pressão se estabilizou e a tensão desvio continuou a crescer, o que fez com que o comportamento do material mudasse para dilatante, apesar de não ser gerada poro pressão negativa.

Dessa forma, percebe-se que as amostras de zinco tem comportamento condizente com o de solos transicionais, apresentando perda de resistência após atingir trajetória de pico (comportamento contrátil) para amostras com $e_i > 3,00$.

Adicionalmente, a partir da Figura 4.10, observa-se que apenas as amostras 05 ($p_0' = 330$ kPa), 06 ($p_0' = 1000$ kPa) e 07 ($p_0' = 2500$ kPa) apresentaram queda das tensões últimas, o que sugere que, apenas essas alcançaram estado crítico de tensões. Neste sentido, a Figura 4.12 apresenta a trajetória de tensões limite considerando o estado último das amostras 05, 06 e 07. A partir da figura, tem-se que $M = 1,09$ e $\phi'_{cs} = 27,5^\circ$, menor que os ângulos de atrito efetivos encontrados para as trajetórias de pico, uma característica condizente de materiais com trajetórias de tensão com comportamento contrátil.

Vale ressaltar que, a curva de tendência traçada para o parâmetro M na seção 4.3.2.2 (Figura 4.8), sugere o valor de M igual a 1,20, correspondente a ϕ'_{cs} de 30° . Porém, ao analisar as trajetórias de tensões, observa-se que, apesar das amostras terem sido cisalhadas alcançando níveis de tensões de 30%, o que na teoria seria suficiente para caracterizar estado crítico, apenas 03 ensaios realmente aparentam ter alcançado condições críticas, conforme mencionado acima. Dessa forma, o valor de M estimado na seção anterior corresponde, efetivamente, a tangente da trajetória de pico para altas tensões efetivas e não ao parâmetro de estado crítico. Este, por sua vez, conforme analisado acima, pode ser estimado como $M = 1,09$ e $\phi'_{cs} = 27,5^\circ$.

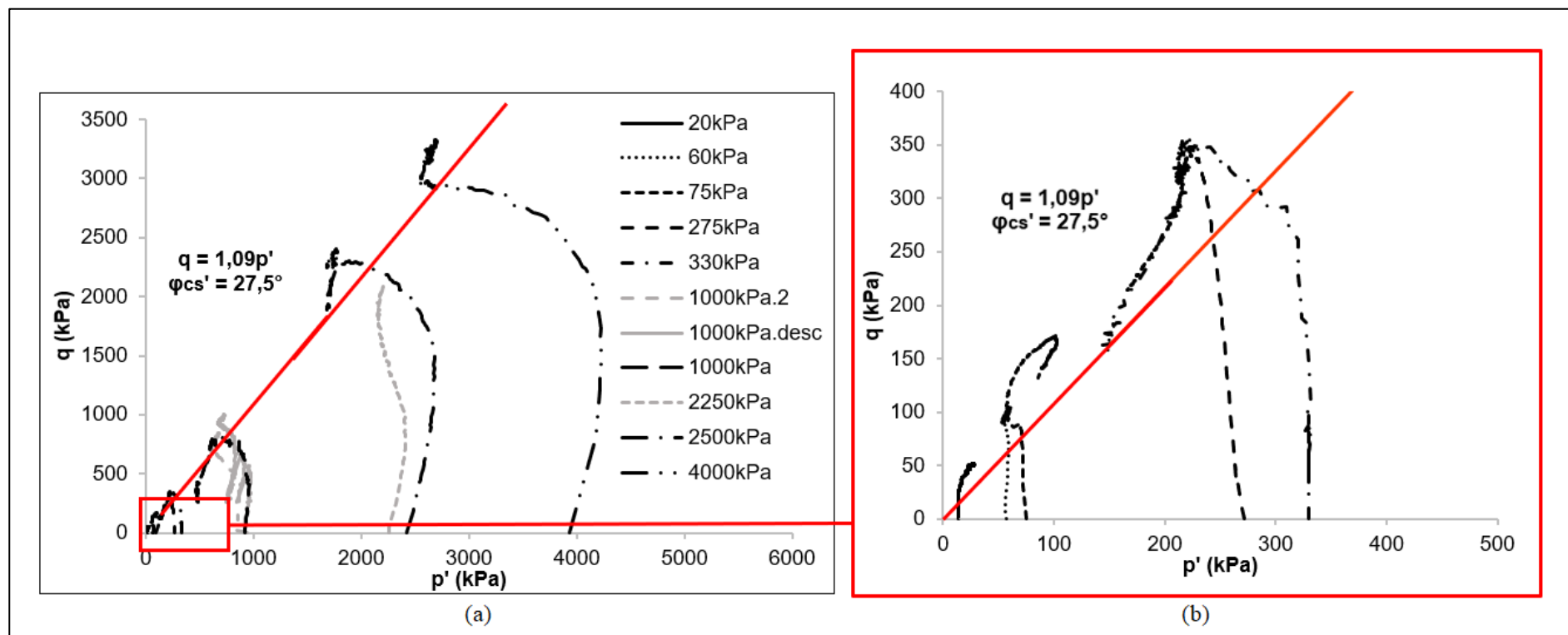


Figura 4.12: Trajetória de tensões limite (a) $p_0' \geq 1000$ kPa. (b) $p_0' < 1000$ kPa

4.3.4. Linha do estado crítico

Após atingir a tensão efetiva (p_0') desejada e esperado as tensões se estabilizarem, as amostras foram submetidas ao cisalhamento monotônico em condições não-drenadas, nas quais impedia-se a variação de volume. Conseqüentemente, durante o cisalhamento não-drenado, o volume específico é constante e as trajetórias de cisalhamento são paralelas ao eixo p' (Figura 4.13).

Como discutido na seção anterior, apenas as amostras 05 ($p_0' = 330$ kPa), 06 ($p_0' = 1000$ kPa) e 07 ($p_0' = 2500$ kPa) apresentaram queda das tensões últimas, o que sugere que, apenas essas alcançaram estado crítico de tensões. Neste sentido, foi traçada uma tendência do comportamento da Linha do estado crítico (LEC) passando majoritariamente por estes 03 pontos, representados em vermelho na Figura 4.13.

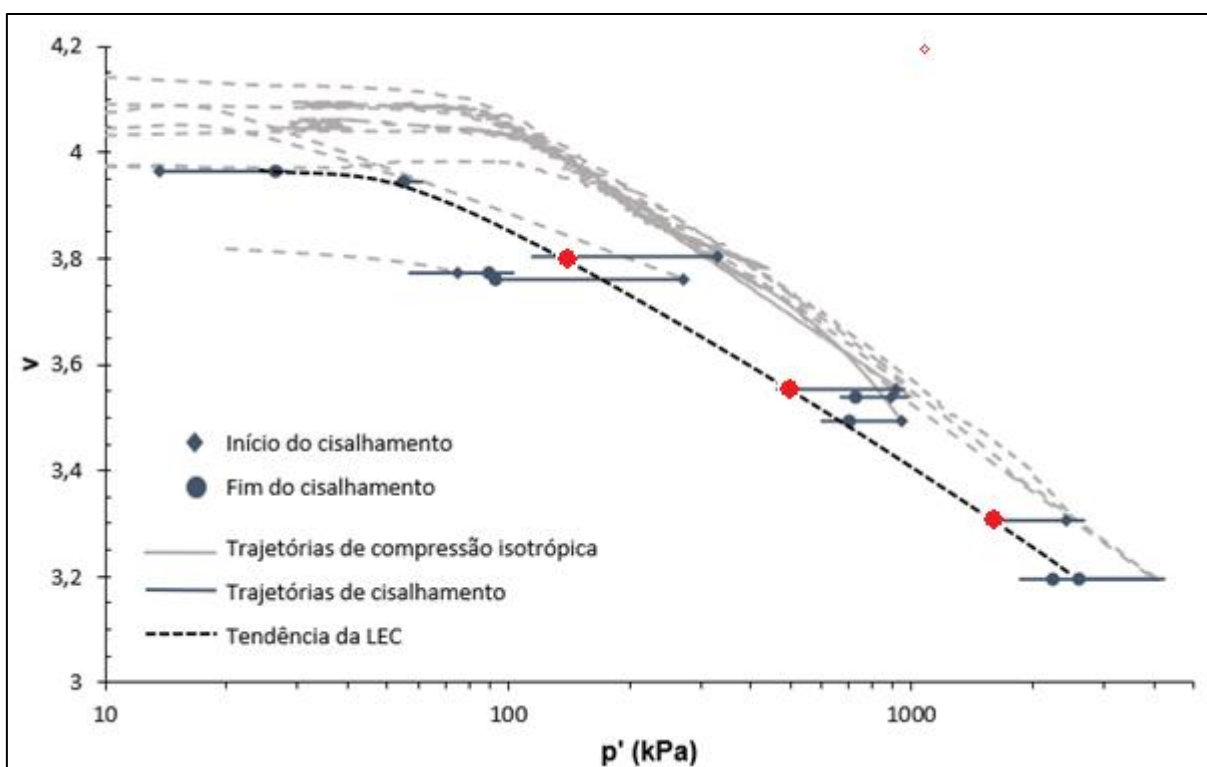


Figura 4.13: Trajetórias de cisalhamento e tendência da LEC.

Sendo assim, as trajetórias obtidas pelos ensaios realizados sugerem o traçado de uma LEC não linear, com formato curvo para tensões efetivas (p_0') de até 400 kPa. Para $p_0' > 400$ kPa, LEC tende a ser reta e paralela à LCI, como característico de solos transicionais (item 2.5.2).

Como abordado na seção 2.5, a linha de estado crítico (LEC) pode ser expressa pela equação 2.11:

$$v = \Gamma - \lambda \cdot \ln p' \quad (2.11)$$

Onde Γ é o valor de v para $p' = 1\text{kPa}$ e λ é o valor do gradiente da LEC.

A partir do prolongamento do trecho linear da LEC, traçado na Figura 4.14, tem-se que $\Gamma = 4,85$ e com inclinação (λ) correspondente a inclinação da LCI, no valor de 0,240, logo para o rejeito de zinco, a LEC traçada pode ser expressa por:

$$v = 4,85 - 0,240 \ln p'$$

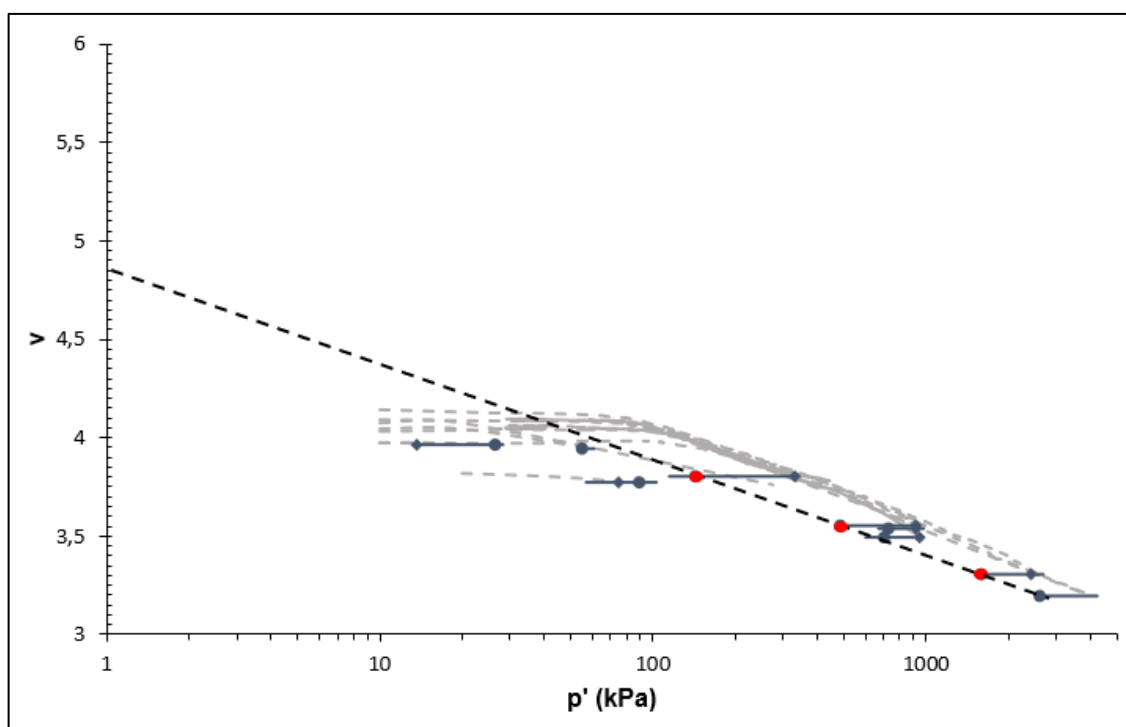


Figura 4.14: Prolongamento da LEC para determinação de Γ

Como discutido na seção 4.3.1, a nível de comparação, Bedin (2010) ao analisar as curvas de estado crítico de resíduos de bauxita, como lama vermelha e areia vermelha, encontrou Γ igual a 1,46 e 1,71 e λ de 0,093 e 0,071, respectivamente. Nota-se que os parâmetros encontrados para o rejeito de zinco são muito maiores. Esta diferença pode ser justificada pelo rejeito de

zinco ser um material com finos mais compressíveis e as amostras de zinco ensaiadas terem maior índice de vazios inicial. Enquanto Bedin analisou amostras com $e_i = 1,72$, no presente estudo foram moldadas amostras de rejeito de zinco com $2,78 \leq e_i \leq 3,14$.

Já a não-linearidade da linha do estado crítico pode ser justificada pela influência do teor de finos ou pela ocorrência de quebra de grãos durante o cisalhamento das amostras. Analisando ainda as linhas sugeridas para LCI e LEC, percebe-se que as amostras com volume específico maior que 4,00 encontraram-se no lado úmido da curva de estado crítico no início do cisalhamento, sofrendo *strain-softening* até atingir o estado limite. Após alcançarem a trajetória crítica, as amostras apresentaram *strain-hardening* até o fim do ensaio. Já para os ensaios com volume específico menor que 4, as amostras não foram consolidadas até tensões suficientes para atingirem a LCI. Logo, no início do cisalhamento as amostras se encontravam no lado seco da LEC e durante todo o cisalhamento sofreram *strain-hardening*.

4.3.5. Análise de quebra de grãos

A partir dos ensaios de cisalhamento triaxial, constatou-se que o parâmetro de resistência principal do material é o ângulo de atrito efetivo, assim como nas areias. Neste sentido, os solos granulares quando submetidos a altas tensões efetivas, como discutido na seção 2.5.2, podem sofrer quebra de grãos, uma vez que a tensão no contato entre partículas se torna maior que a tensão de resistência das próprias partículas.

A fim de analisar se houve quebra de grãos durante o cisalhamento das amostras de zinco, foram realizados ensaios de granulometria por sedimentação para amostras do material “natural” e após ser cisalhado em tensões efetivas de 1000, 2500 e 4000 kPa (Figura 4.15). Como discutido por Hardin (1985), a quebra da fração grossa pode ser quantificada usando o conceito de quebra relativa (Br), porém, entre a fração fina a análise de quebra de grãos é mais dispersa devido à dificuldade de se repetir os ensaios de granulometria com a técnica de sedimentação.

Dessa forma, como o rejeito de zinco analisado é composto por mais de 80% de finos, neste estudo a quebra de grãos foi quantificada a partir dos diâmetros representativos D90, D60, D50, D30 e D10 e a porcentagem passante na peneira 200 (#0,075mm), como na

Tabela 4-4. Nota-se que em ambos os ensaios, praticamente toda a fração de areia foi quebrada ($P_{p200}(\%) = 100$) e, quanto maior a tensão efetiva no início do cisalhamento, mais fino o material se tornou, uma vez que os diâmetros representativos ficaram cada vez menores.

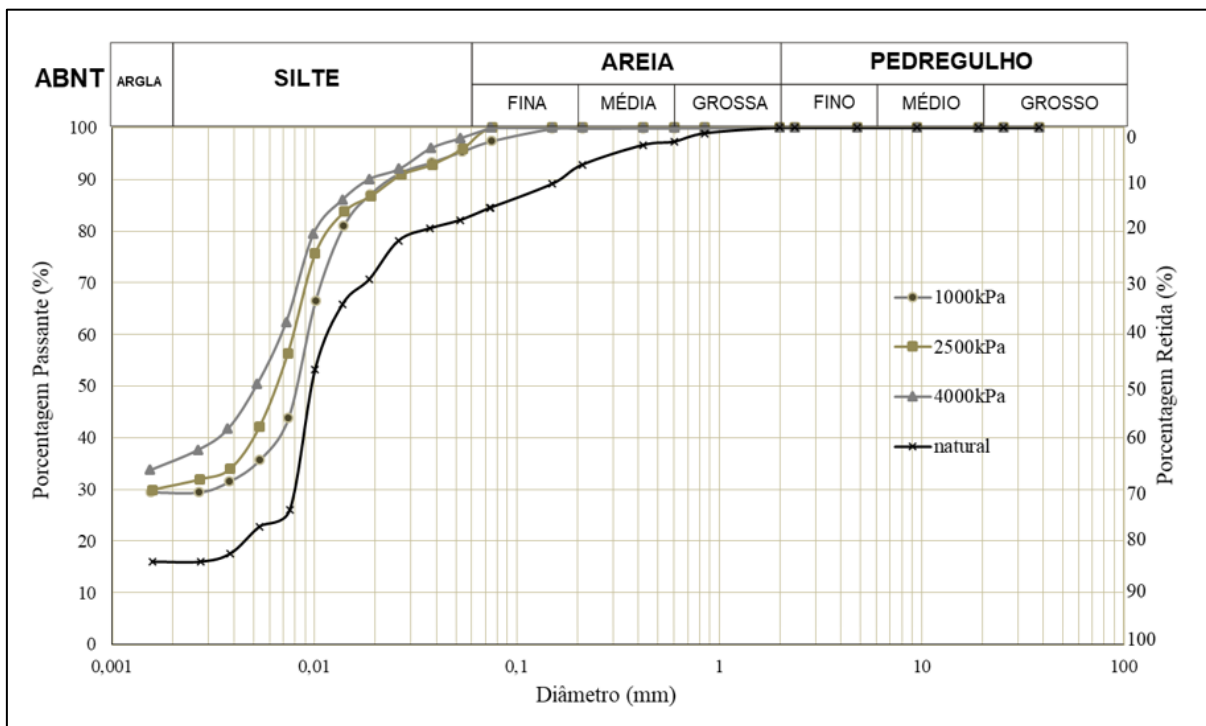


Figura 4.15: Granulometria do rejeito de zinco natural e cisalhado a 1000, 2500 e 4000 kPa.

Tabela 4-4: Diâmetros representativos do rejeito de zinco natural e cisalhado a 1000, 2500 e 4000 kPa

Amostra	Natural	1,000 kPa	2500 kPa	4000 kPa
D90	0,150	0,0382	0,0192	0,0186
D60	0,0101	0,0075	0,0075	0,0052
D50	0,0076	0,0075	0,0054	0,0037
D30	0,0076	0,0054	0,0038	0,0015
D10	-	-	-	-
P_{p200} (%)	84,47	99,51	100	100

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS

O presente trabalho analisou características físico-químicas e geomecânicas do rejeito de mineração de zinco a partir de ensaios de laboratório. Para caracterização física do material, foram realizados ensaios de granulometria por sedimentação, limites de Atterberg e massa específica dos grãos seguindo os procedimentos descritos pela norma brasileira (NBR). Foi observado que a amostra variava entre os grupos SF – Areias siltosas, misturas mal graduadas de areia e silte a MH-Siltos inorgânicos, micáceos ou diatomáceos, finos arenosos ou solos siltosos, siltos elásticos de alta compressibilidade ($LL > 50\%$).

Também foram executados ensaios de mineralogia por fluorescência e difratometria, a fim de analisar as propriedades químicas do rejeito. Já a partir de ensaios triaxiais CIU até altas tensões efetivas, foi analisada a evolução dos parâmetros de resistência do material com o aumento do confinamento, a tendência da linha de consolidação isotrópica e do estado crítico, além de ter sido evidenciado a ocorrência de quebra de grãos.

A partir dos ensaios de FRX e DRX, constatou-se que o material é constituído, essencialmente, por enxofre (S), na forma de sulfato de cálcio (40,4%), sulfato de zinco (21,2%) e sulfato de chumbo (11,1%). Devido à alta concentração de sulfato de cálcio, teve-se dificuldade de se realizar os ensaios de caracterização, uma vez que os procedimentos normalizados envolvem adição de água destilada na amostra, que reage com o sulfato de cálcio causando enrijecimento e perda de consistência do material.

Analisando os ensaios triaxiais com tensões efetivas (p_0') menores que 100 kPa foi determinado $\phi' = 38,7$, enquanto para os ensaios com $100 \text{ kPa} < p_0' < 330 \text{ kPa}$ encontrou-se $\phi' = 32,5^\circ$ e, sob altas tensões efetivas de 1000, 2500 e 4000 kPa obteve-se $\phi' = 30^\circ$. A variação abrupta do ângulo de atrito efetivo de pico, observada para baixas tensões confinantes, pode ser justificada pelas reações químicas de hidratação do material e pela ocorrência de quebra de grãos. Uma vez que a fraca cimentação causada pela reação dos componentes do material à base de enxofre com água resulta em sulfato de cálcio hemi-hidratado, material cimentante, sugere-se que com o

aumento de $p_0' > 100$ kPa essas ligações químicas inter-partículas são quebradas. Também foi observado que, a redução do valor do ângulo de atrito se deve à quebra de grãos da fração arenosa na matriz do material com o aumento da tensão efetiva de consolidação.

No plano $p': q$, as trajetórias de tensões limites apresentam tendências divergentes, variando entre comportamento contrátil e dilatante após atingir a trajetória de pico. Foi discutido que a tendência de comportamento do rejeito de zinco durante o cisalhamento está relacionada a variação dos índices de vazio entre amostras, uma vez que os CPs moldados com $e_i > 3,00$ foram os que apresentaram comportamento contrátil após atingirem níveis máximos de tensão, enquanto as amostras com $e_i \leq 3,00$ dilataram.

Se tratando de estado crítico, a partir das trajetórias de tensões, pode-se inferir que apenas 03 amostras cisalhadas de fato alcançaram a condição crítica de tensões e, a partir dessas, foi determinado $\phi_{cs}' = 27,5^\circ$.

Já as linhas de consolidação isotrópica (LCI) e de estado crítico (LEC) plotadas no plano $v : \ln(p')$ para amostras com v entre 3,97 e 4,14, se mostraram paralelas para tensões acima de 400 kPa. A LCI se unifica para p' maior que 100 kPa, o que revela a não influencia do índice de vazios inicial na trajetória da consolidação isotrópica para níveis de tensões acima de 100 kPa. Já a LEC se mostra curva até alcançar tensões efetivas acima de 400 kPa. Observou-se que, atingido esse nível de tensões, ocorreu quebra da fraca cimentação inicial e quebra de partículas da matriz arenosa.

5.2. CONCLUSÕES

Ao final da pesquisa é possível concluir que o rejeito de mineração de zinco não se comportou como um solo natural, principalmente porque o material analisado era composto por praticamente 40% de compostos químicos a base de enxofre. A presença de óxidos de enxofre dificultou a realização dos ensaios de classificação física do material seguindo os procedimentos normalizados para solos, uma vez que ao adicionar água à amostra ocorria uma reação química gerando novos compostos e alterando o pH da solução. Apesar das dificuldades encontradas durante a classificação, concluiu-se que a granulometria da amostra estudada variava entre areia siltosa e silte arenoso

Também foi possível concluir que, o sulfato de cálcio hemi-hidratado (basanita) gerado pela reação de hidratação do rejeito de zinco, age como um composto cimentante e foi um dos fatores responsáveis pelo material ter apresentada maior resistência e interação entre partículas para tensões efetivas de até 100-150 kPa. Para níveis de tensões maiores, as amostras de rejeito de zinco apresentaram queda abrupta de resistência devido à quebra da cimentação química e ocorrência de quebra de grãos. O ângulo de atrito de pico encontrado variou de $38,7^\circ$ a $30,0^\circ$, enquanto o ângulo de atrito no estado crítico foi determinado igual a $27,5^\circ$, valores condizentes com os expostos na literatura para solos compostos por mistura de granulometria.

A partir do comportamento das amostras após atingir trajetória de pico no plano $p':q$, conclui-se que o índice de vazios inicial das amostras (e_i) domina o comportamento do rejeito de zinco no cisalhamento, característica fundamental de solos transicionais. Para $e_i \leq 3,00$, as amostras apresentaram comportamento dilatante, enquanto para $e_i > 3,00$, as amostras contraíram após atingir trajetória de pico. A partir desta observação, ao extrapolar para a situação real de campo, pode-se inferir que se deve evitar a deposição do material em estado fofo com $e_i > 3,00$. Situação na qual o material, caso sofra um carregamento estático em condições não drenadas, está sujeito a apresentar comportamento contrátil, com redução abrupta de resistência.

Já pelas linhas de tendência traçadas para a LCI e LEC, foram obtidos os parâmetros $\lambda = 0,240$, $N = 5,17$ e $\Gamma = 4,85$. Estes valores encontrados para o rejeito de zinco são muito maiores que os obtidos por Bedin (2010) para amostras de resíduo de bauxita, o que pode ser justificado

pelo rejeito de zinco ser composto por partículas finas mais compressíveis. Adicionalmente, ainda não se tem pesquisas com rejeito de zinco sob altas tensões efetivas a fim de comparação com os resultados obtidos na presente pesquisa.

Em relação a quantidade de quebra de grãos observada com o aumento das tensões efetivas, pode-se concluir que esta está relacionada aos processos de beneficiamento pelos quais é gerado o rejeito de zinco. Uma vez que o beneficiamento do zinco metálico envolve etapas de alterações físicas e químicas, pode-se concluir que o rejeito de zinco é composto por partículas muito desgastadas, frágeis e quebradiças.

Por fim, a partir das conclusões citadas acima, tem-se que a presente pesquisa cumpriu com seus principais objetivos de caracterizar o material em termos físico-químicos e mecânicos, sendo observado que a composição química do rejeito de zinco interfere diretamente seu comportamento nas análises físicas e mecânicas. Dessa forma, no desenvolver da engenharia de rejeitos de mineração, é fundamental entender o processo de beneficiamento pelo qual o rejeito foi gerado para melhor entender seu comportamento geo-mecânico.

5.3. SUGESTÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS

A engenharia de mineração ainda apresenta muitas incertezas e desconhecimento quanto ao comportamento geomecânico dos rejeitos de mineração dispostos em barragens. Além disso, é importante se ampliar as investigações e pesquisas sobre distintos métodos de disposição. Dessa forma, são propostas as seguintes linhas de pesquisa:

- i) Buscar uma definição melhor de procedimentos de caracterização de rejeitos de mineração;
- ii) Estudar a composição físico-química dos rejeitos devido aos processos de beneficiamento e as reações químicas que o material pode sofrer ao longo do processo de disposição. Fatores que influenciam diretamente em seu comportamento geomecânico;
- iii) Necessidade de pesquisas complementares em diferentes tipos de rejeitos de mineração sob altas tensões efetivas a fim de melhor caracterizar a ocorrência de quebra de grãos e a LEC;
- iv) Realizar ensaios de compressão triaxial cíclico em laboratório, a fim de simular eventos sísmicos e comparar resultados com os de compressão estática.
- v) Estudar o método de disposição de rejeitos em pilhas drenadas a partir de ensaios de campo e de laboratório.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. B. **Tratamento hidrometalúrgico do rejeito da rota de processamento de zinco primário para a recuperação de sulfato de cálcio visando aplicação industrial.** 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

ARAUJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro.** 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo - Análise granulométrica - NBR 7181, Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, 13p. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Grãos de Solo que Passam na Peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica – NBR 6508. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, 18p. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180 (1984): Solo – Determinação do limite de plasticidade, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459 (1984): Solo – Determinação do limite de liquidez, 1984.

Atkinson, J. **An introduction to the Mechanics of Soils and Foundations.** London: McGraw-Hill. 1993.

ATKINSON, J.H. AND BRANSBY, P.L. **The Mechanics of Soils.** London: McGraw-Hill. 1978.

BEDIN, J. **Estudo do comportamento geomecânico de rejeitos de mineração.** 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Geotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

BEEN, K.; JEFFERIES, M. G. **A state parameter for sands.** Géotechnique, V 35, n. 2, p. 99-112, 1985.

- BEEN, K.; JEFFERIES, M.G.; CROOKS, J.H.A.; ROTTENBERG, L. **“The cone penetration test in sands: part II. General inference of state”**. *Géotechnique*, Vol. 37, N° 3, pp.285-299, 1987.
- BEEN, K., JEFFERIES, M. G. **Soil Liquefaction: A Critical State Approach**. 2 ed. London and New York, Taylor & Francis, 2016
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. Relatório Técnico 25 – Perfil do Minério de Zinco. Brasília, 2010.
- BS- 1377. Methods of test for soils for civil engineering purposes. General requirements and sample preparation, British Standards Institution 38 p, 1990.
- CAMPAÑA, J. Bard E.; VERDUGO, R. **Shear strength and deformation modulus of tailing sands under high pressures**. 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Proceedings. p. 313-316, 2013.
- CARRERA, A., COOP, M., LANCELLOTTA, R. **“Influence of grading on the mechanical behavior of Stava tailings”**. *Géotechnique* v.61, n.11, pp.935-946, Nov 1991.
- CARRERA, A., COOP, M., LANCELLOTTA, R. **Influence of grading on the mechanical behaviour of Stava tailings**. *Géotechnique* 61 (11), 935–946, 2011.
- COOP, M. **The Mechanics of Uncemented Carbonate Sands**. *Geotechnique*, Vol. 40, No. 4, pp. 607-626, 1990.
- COOP, M., NOCILLA, A. **PARTICLE BREAKAGE IN TRANSITIONAL SOILS**. *Geomechanics and Geotechnics of Particulate Media – Hyodo, Murata & Nakata (eds)*. Taylor & Francis Group, London, ISBN 0–415–41097–5, 2006.
- COOP, M.R. & LEE, I.K. **The behaviour of granular soils at elevated stresses**. *Predictive Soil Mechanics, Proc. C.P.Wroth Mem Symp.*, Thomas Telford, London, 186-198, 1993.

DAVIES, M. P. e MARTIN T. E. **Upstream constructed tailings dams - A review of the basics**. Tailings and Mine Waste 00. Colorado, USA, A.A. Balkema, Rotterdam: pp. 3-15. 2000.

DAVIES, M. P.; McROBERTS, E.; MARTIN, T. **Static liquefaction of tailings: fundamentals and case histories**. In: AMEC Earth e Environmental. Vancouver and Edmonton, 2002.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral, CDEM – O Universo da Mineração Brasileira. A produção das 1862 Minas no Brasil, 2008.

EPA - Environmental Protection Agency. Design and evaluation of tailings dams. Technical report, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, USA, 59 p. 1994

FEIJÓ, F. D. **Redução das perdas de zinco associadas aos processos de purificação do licor por cementação e de tratamento dos rejeitos gerados da Votorantin Metais**. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Área de concentração de Hidrometalurgia) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

GOMES, M. F. M. **Metodologia de análise hierárquica aplicada para escolha do sistema de disposição de subproduto da mineração com ênfase nos rejeitos de minério de ferro**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação Núcleo de Geotecnia – NUGEO, UFOP, Ouro Preto, 193p, 2009.

HARDIN, B.O. **Crushing of Soil Particles**. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. III, No. 10, pp. 1177-1192, 1985.

Head, K. **Manual of Soil Laboratory Testing** (Vols. 1, 2 e 3). Whittles Publishing, 2006.

HIND, A. R.; BHARGAVA, S. K.; GROCCOTT, S. C. **The surface chemistry of Bayer process solids: a review - Colloids and Surfaces**. A: Physicochemical and Engineering Aspects, 146, 359–374, 1999.

HLENKA, L. **Estudo dos efeitos da velocidade de carregamento na estimativa de parâmetros geotécnicos em rejeitos de mineração de zinco**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da UFRGS, Porto Alegre, 2012.

IBRAM – Instituto Brasileiros de Mineração – Informações sobre a Economia Mineral Brasileira 2015 – relatório disponível em:

<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>, 2015.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração – Gestão e Manejo de Rejeitos de Mineração – relatório disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>, 2016.

KLOHN, E. J. **The development of current tailing dam design and construction methods.** Design and Construction of Tailing Dams, D. Wilson (ed.), Colorado School of Mines, Golden, USA, 1981.

LADE, R. S. **Preparing test specimens using undercompaction.** Geotechnical Testing Journal, Philadelphia, V1, n.1, p.16-23, 1978.

LADE, P. V.; YAMAMURO, J. A. **Effects of nonplastic fines on static liquefaction of sands.** Canadian Geotechnical Journal, V 34, P.918-928, 1997.

LI, W.; COOP, M.; SENETAKISC, K.; SCHNAID, F. **The mechanics of a silt-sized gold tailing.** Engineering Geology. V 241, P. 97-108, 2018.

LI, X. S. & Wang, Y. **Linear representation of steady-state line for sand.** J. Geotech. Geoenviron. Engng ASCE 124, No. 12, 1215–1217, 1998.

MARQUES, S. F. V. **COMPORTAMENTO DE UMA AREIA ARTIFICIALMENTE CIMENTADA ATÉ ALTAS TENSÕES DE CONFINAMENTO.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 674 p, 2008.

MENDES, Mardon Borges. **Comportamento geotécnico de uma barragem de rejeito alteada para montante.** Dissertação (Mestrado em Engenharia, Área de concentração de Engenharia Geotécnica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

MULILIS, J.P.; TOWNSEND, F. C.; HORZ, R.C. **“Triaxial Testing Techniques and Sand Liquefaction”**. Dynamic Geotechnical Testing, ASTM STP 654, 1978, p. 265-279, 1978.

MURTHY, T. G. LOUKIDIS, D., CARRARO, J. A. H., PREZZI, M., SALGADO, R. **Undrained monotonic response of clean and silty sands**. Géotechnique 57 (3), 273-288, 2007.

Ni, Q., Tan, T. S., Dasari, G. R. & Hight, D. W. **Contribution of fines to the compressive strength of mixed soils**. Géotechnique 54, No. 9, 561–569, 2004.

Nocilla, A., Coop, M. R. & Colleselli, F. **The Mechanics of an Italian Silt; an Example of “Transitional” Behaviour**. Accepted for Géotechnique, 2006.

PEREIRA, E. L. **Estudo do potencial de liquefação de rejeitos de minério de ferro sob carregamento estático**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFOP, Ouro Preto, 2005.

RIBEIRO, C. C. **Estudo sobre o comportamento geomecânico de rejeito de mineração de zinco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

RUSSO, M. L. C. **Beneficiamento de rejeito de minério de zinco**. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

Schofield, A., & Wroth, C. **Critical State Soil Mechanics**. London: McGraw-Hill. 1968.

SILVA, W. R. **Nova Metodologia para Determinação de Propriedades de Sedimentação e Adensamento de Rejeitos de Mineração**. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2008.

SHIPTON, B., COOP, M. R. **On the compression behavior of reconstituted soils**. Soils Found. 52 (4), 668-681, 2012.

SOUZA, A. D. **Processo integrado: biolixiviação e lixiviação química na indústria do zinco**. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais, Área de concentração de Engenharia de Processos) – Rede Temática em Engenharia de Materiais. Ouro Preto, 2005.

SOUZA PINTO, C. **Curso básico de mecânica dos solos**. 2^a ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

SKEMPTON, A. W. **The Pore-pressure Coefficients A and B**. Géotechnique, London, V.4, p.143-147, 1954.

Thevanayagam, S. **Effect of fines and confining stress on undrained shear strength of silty sands**. J. Geotech. Geoenviron. Engng ASCE 124, No. 6, 479–491, 1998.

Thevanayagam, S., Shenthan, T., Mohan, S. & Liang, J. **Undrained fragility of clean sands, silty sands and sandy silts**. J. Geotech. Geoenviron. Engng ASCE 128, No. 10, 849– 859, 2002.

TRONCOSO, J.H. **Geotechnics of Tailings dams and sediments**. International Congress of Environmental Geotechnics. ICEG pp.1405-1423, 1997.

VICK, S.G. **Planning, Design and Analysis of Tailings Dams**. John Wiley & Sons, Inc., 369 p, 1983.

VILLAR, L.H.A. **Estudo do Adensamento e Ressecamento de Rejeitos de Mineração e Processamento de Bauxita**. Tese de doutorado, Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro.461p, 2002.

7. ANEXOS

7.1. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 20 kPa

CÓDIGO CORPO DE PROVA	CP11-20 kPa	
Data moldagem:	14.05.2018	
Data saturação:	15.05.2018	
Data adensamento:	15.05.2018	
Data cisalhamento:	15.05.2018	
Tensão efetiva de ensaio (kPa):	20	
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)	5	
Altura especificada Corpo de prova (cm)	10	
Teor de Umidade (meta) (%)	20,0%	
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm ³)	0,800	
G_{solo}	3,27	
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM		
Umidade média (%)	19,10%	
Massa CP úmido (g)	188,3	
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)	4,960	
Altura média Corpo de prova (cm)	9,950	
Área Corpo de prova (cm ²)	19,322	
Volume Corpo de prova (cm ³)	192,254	
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm ³)	0,979	
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm ³)	0,822	
Peso Solo obtido (g)	158,102	
Vol Solo obtido (cm ³)	48,349	
Volume vazios obtido (cm ³)	143,905	
Grau de compactação (%)	102,80%	
Variação teor umidade (%)	-0,90%	
Variação diâmetro (mm)	-0,040	
Variação altura (mm)	-0,050	
e após moldagem	2,976	
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO		
Leitura inicial volumétrico	V	5,396
Leitura final volumétrico	V	4,025
Volume final após adensamento	cm3	192,254

Diâmetro final após adensamento	cm	4,960
Altura final após adensamento	cm	9,950
e pos consolidação		2,965

Ensaio a 20 kPa			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,000	0,000	433,619	419,985
0,010	1,728	433,619	420,763
0,050	4,021	433,619	421,541
0,081	6,317	433,619	422,318
0,121	8,606	433,619	422,578
0,141	12,056	433,619	423,615
0,172	14,347	433,877	424,911
0,202	16,636	433,877	425,429
0,232	18,349	433,877	426,466
0,262	19,485	433,619	426,726
0,323	21,179	433,877	427,503
0,343	22,894	434,135	427,763
0,373	23,452	434,135	428,281
0,424	24,573	434,135	428,281
0,454	25,130	434,393	428,800
0,505	25,676	434,393	428,800
0,535	26,232	434,393	429,059
0,565	26,215	434,393	429,318
0,606	26,191	434,393	429,318
0,636	26,747	434,393	429,318
0,666	26,729	435,168	429,577
0,707	26,705	435,168	429,837
0,737	27,260	434,910	429,577
0,757	27,248	435,168	430,096
0,808	28,364	435,168	430,096
0,818	28,930	435,168	430,096
0,868	28,327	435,168	430,096
0,909	28,875	435,168	430,096
0,919	28,868	435,168	430,096
0,969	28,838	435,426	430,096
0,999	29,391	435,168	430,096
1,020	29,378	435,426	430,355
1,060	29,925	435,168	430,096
1,070	29,918	435,426	430,355
1,131	29,881	435,685	430,614
1,151	30,439	435,685	430,614
1,171	30,426	435,685	430,614
1,211	30,401	435,685	430,614
1,242	30,382	435,685	430,614
1,272	30,933	435,943	430,874
1,312	30,338	435,685	430,614
1,343	31,459	434,135	429,059
1,383	30,864	434,135	429,059
1,403	30,851	434,135	429,059

1,444	31,395	434,135	429,059
1,464	31,951	434,135	429,059
1,494	31,932	434,135	429,059
1,534	31,906	434,135	429,059
1,555	31,893	434,393	429,059
1,605	32,429	434,393	429,059
1,625	32,984	434,135	429,318
1,645	31,835	434,393	429,059
1,706	32,364	434,393	429,059
1,726	32,919	434,393	429,059
1,756	32,899	434,135	429,318
1,777	33,453	434,393	429,059
1,827	33,987	434,393	429,059
1,847	33,974	434,393	429,059
1,878	33,954	434,393	429,059
1,898	33,941	434,393	429,059
1,928	33,921	434,393	429,059
1,948	33,908	434,393	429,059
2,019	33,861	434,910	429,059
2,049	33,842	434,393	429,059
2,069	34,394	434,393	428,800
2,090	33,815	434,393	428,800
2,130	33,789	434,393	428,800
2,150	34,341	434,393	429,059
2,191	34,879	434,910	429,059
2,221	34,859	434,393	428,800
2,221	34,294	434,393	428,800
2,221	34,294	434,393	428,800
2,261	34,268	434,135	429,059
2,291	34,812	434,135	428,800
2,322	35,356	434,135	428,800
2,352	35,336	433,877	429,059
2,372	35,322	433,877	429,059
2,413	35,295	433,619	428,800
2,423	35,288	433,619	428,800
2,463	35,825	433,619	428,800
2,493	35,804	433,619	428,800
2,524	35,784	433,102	428,540
2,554	36,327	433,360	428,800
2,594	36,299	432,844	428,281
2,594	36,862	434,135	429,577
2,635	36,834	434,135	429,577
2,655	36,821	434,135	429,837
2,705	36,786	433,877	429,318
2,726	37,334	433,877	429,318
2,756	36,752	433,619	429,577
2,766	36,745	433,619	429,318
2,806	37,840	433,619	429,318
2,837	37,819	433,619	429,318
2,857	38,367	433,619	429,577
2,897	38,338	433,619	429,837
2,927	37,757	433,619	429,318
2,958	38,296	433,619	429,577
2,988	38,275	433,360	429,318
3,028	38,247	433,360	429,577
3,049	38,793	433,360	429,318
3,059	38,786	433,360	429,318
3,109	38,191	433,877	429,837
3,139	38,170	433,877	430,096
3,170	38,709	434,135	430,096
3,190	39,254	434,135	430,096

3,210	38,681	434,135	430,096
3,240	38,659	434,135	430,096
3,291	39,183	434,135	430,096
3,341	39,148	434,135	430,096
3,361	39,133	434,393	430,096
3,392	39,112	434,393	430,096
3,432	39,084	434,135	429,577
3,473	39,613	434,393	429,577
3,493	39,599	434,393	429,577
3,533	39,571	434,393	429,577
3,573	40,099	434,393	429,577
3,624	39,507	434,910	429,577
3,634	40,056	435,168	429,837
3,674	40,028	434,910	429,577
3,695	40,013	435,168	429,837
3,735	39,985	435,168	429,318
3,765	40,520	435,168	429,318
3,796	40,498	435,168	429,577
3,826	40,476	435,168	429,318
3,856	41,010	435,168	429,318
3,896	40,982	435,168	429,318
3,917	40,967	435,168	429,318
3,947	40,945	435,168	429,318
3,997	41,464	435,685	429,318
4,028	41,442	435,685	429,318
4,058	41,420	435,685	429,318
4,088	41,399	435,685	429,318
4,098	41,391	435,685	429,318
4,149	41,355	434,393	428,281
4,179	41,333	434,135	427,763
4,209	41,311	434,135	428,022
4,240	41,290	434,135	427,763
4,260	42,382	434,393	428,022
4,300	41,246	434,135	427,763
4,331	41,777	434,393	428,022
4,371	42,301	434,393	427,763
4,401	41,726	434,135	427,763
4,432	42,257	434,393	427,503
4,472	41,675	434,393	427,763
4,502	42,206	434,393	427,503
4,532	42,183	434,393	427,503
4,543	42,728	434,910	427,763
4,593	42,691	434,393	427,503
4,613	42,125	434,393	427,503
4,643	42,103	434,393	427,503
4,694	42,617	434,393	427,503
4,704	43,161	434,393	427,503
4,765	43,117	434,393	427,503
4,795	42,544	434,135	426,985
4,815	42,529	434,393	427,244
4,835	43,065	434,135	426,985
4,876	43,035	434,135	426,985
4,906	43,013	434,135	426,985
4,936	42,991	434,135	426,726
4,967	42,968	434,393	427,244
5,007	42,939	434,135	426,985
5,027	43,473	434,393	427,244
5,078	43,436	434,393	427,244

5,108	42,865	434,135	426,726
5,138	42,843	434,135	426,985
5,178	43,911	434,393	426,985
5,189	42,806	434,135	426,726
5,239	42,769	434,393	426,985
5,259	43,303	434,135	426,726
5,290	43,280	434,393	426,726
5,320	43,258	434,393	426,726
5,350	43,783	434,393	426,726
5,380	43,214	434,393	426,726
5,411	43,191	434,135	426,985
5,451	43,709	434,393	426,726
5,481	43,140	434,393	426,726
5,502	44,219	434,135	426,726
5,512	43,664	434,135	426,726
5,542	44,189	434,135	426,726
5,562	43,627	433,877	426,726
5,582	44,159	433,619	426,726
5,613	44,136	433,619	426,726
5,643	43,567	434,135	427,244
5,653	44,106	434,135	427,244
5,693	43,530	433,877	427,244
5,714	44,061	434,135	427,503
5,744	44,039	433,619	426,985
5,784	44,009	433,619	426,985
5,814	43,987	433,619	427,244
5,845	43,964	433,619	427,244
5,875	43,942	433,360	426,985
5,915	43,912	433,619	427,244
5,936	43,897	433,360	427,244
5,956	44,427	433,360	427,244
6,006	44,933	434,393	428,281
6,037	44,367	434,135	428,281
6,067	44,344	434,393	428,281
6,097	44,322	434,135	428,281
6,127	44,299	434,393	428,281
6,178	44,805	434,393	428,281
6,218	44,775	434,393	428,281
6,249	44,752	434,393	428,281
6,289	45,265	434,910	428,281
6,319	45,242	434,393	428,281
6,339	45,227	434,910	428,281
6,390	45,189	434,910	428,022
6,440	45,152	435,168	428,281
6,450	45,144	434,393	427,503
6,491	46,197	434,393	427,763
6,521	46,174	434,393	427,763
6,572	46,136	434,393	427,503
6,592	46,662	434,393	427,503
6,622	46,098	434,910	427,763
6,652	45,534	434,910	427,503
6,693	46,044	434,910	427,503
6,723	46,021	435,168	427,503
6,753	45,999	435,168	427,763
6,794	45,968	435,168	427,763
6,824	46,485	435,168	427,763
6,864	46,994	435,168	427,503
6,895	46,431	435,168	427,503
6,925	46,408	435,168	427,503
6,945	46,393	435,168	427,503
6,996	46,894	435,168	427,763

7,026	46,332	435,168	427,503
7,046	46,855	434,135	425,948
7,076	46,832	433,877	425,948
7,107	46,809	433,877	425,948
7,147	46,240	434,135	425,948
7,167	46,225	434,135	425,948
7,208	46,732	434,135	425,948
7,248	46,164	434,135	426,207
7,278	46,679	434,135	425,948
7,298	46,663	434,135	425,948
7,329	46,640	434,135	425,689
7,379	46,602	434,135	426,207
7,409	46,579	434,135	425,948
7,440	46,556	434,135	425,948
7,470	46,533	434,135	425,689
7,510	46,502	434,135	425,689
7,531	47,560	434,135	425,689
7,571	47,529	434,135	425,948
7,571	48,065	434,135	425,689
7,601	48,042	433,877	425,689
7,631	48,018	433,619	425,689
7,662	47,995	433,619	425,689
7,682	47,444	434,393	426,726
7,712	47,421	434,135	426,726
7,732	47,940	434,135	426,726
7,783	47,902	434,135	426,726
7,803	47,886	433,877	426,726
7,833	47,863	433,619	426,726
7,864	47,839	433,619	426,726
7,904	47,808	433,619	426,726
7,904	47,808	433,619	426,726
7,954	47,770	433,360	426,726
7,965	47,762	433,360	426,466
8,005	47,731	433,360	426,726
8,066	47,684	433,360	426,726
8,066	47,684	432,844	426,726
8,096	47,661	433,102	426,726
8,136	47,630	433,102	426,726
8,166	48,140	433,360	426,726
8,197	47,584	433,360	426,726
8,217	48,101	433,360	426,726
8,247	49,143	433,877	427,503
8,288	48,579	434,910	428,281
8,308	49,096	435,685	429,059
8,338	49,072	435,685	429,059
8,368	49,049	435,685	429,059
8,429	49,002	435,426	429,318
8,459	48,978	435,685	429,318
8,469	48,970	435,685	429,059
8,520	48,931	435,685	429,318
8,540	49,447	435,685	429,318
8,580	49,946	435,685	429,318
8,611	49,391	435,943	429,318
8,641	49,898	435,943	429,318
8,671	49,875	436,201	429,318
8,701	49,320	435,943	429,577
8,732	49,297	436,459	429,577
8,762	49,273	436,459	430,096

8,792	49,250	436,459	430,096
8,833	50,807	433,000	430,096
8,873	49,716	432,844	430,096
8,924	49,147	433,877	427,244
8,954	49,653	434,910	427,763
8,984	50,158	435,685	428,800
9,025	50,127	436,718	430,096
9,075	50,615	433,000	430,000
9,085	50,607	433,000	430,000
9,146	51,088	433,000	430,000
9,176	50,536	433,000	430,000
9,186	49,472	433,000	425,000
9,226	50,496	432,844	425,429
9,267	49,409	432,844	425,170
9,297	50,440	435,168	427,244
9,317	50,424	433,360	425,429
9,378	49,849	434,393	426,726
9,398	50,360	434,393	426,726
9,418	50,345	434,393	426,726
9,448	50,321	434,393	426,466
9,479	50,297	434,910	426,466
9,529	49,731	434,393	426,726
9,560	50,233	434,135	425,689
9,600	49,676	434,135	425,689
9,630	50,178	434,135	425,689
9,660	50,154	434,135	425,689
9,691	50,130	434,135	425,689
9,741	50,091	434,135	425,689
9,772	50,067	434,135	425,689
9,782	50,059	434,393	425,689
9,832	50,020	434,393	425,689
9,852	50,004	434,393	425,429
9,893	49,972	434,393	425,689
9,933	49,941	434,393	425,689
9,953	49,925	434,393	425,429
9,983	49,901	434,393	425,689
10,014	49,878	434,393	425,429
10,044	49,854	434,393	425,429
10,084	50,346	434,393	425,429
10,115	50,322	434,393	425,429
10,135	49,783	434,393	425,429
10,165	49,760	434,393	425,429
10,195	49,736	434,393	425,429
10,236	49,705	434,393	425,429
10,276	50,196	434,393	425,429
10,317	50,164	434,393	425,429
10,357	50,133	434,393	425,429
10,357	50,133	434,393	425,429
10,387	51,153	434,393	425,429
10,397	50,623	434,393	425,429
10,418	50,085	434,393	425,429
10,438	50,591	434,393	425,429
10,488	50,030	434,393	425,429
10,498	50,022	434,135	425,429
10,529	49,999	434,135	425,429
10,559	51,017	434,135	425,429
10,589	50,472	434,135	425,429
10,630	50,441	433,877	425,429
10,660	50,938	434,135	425,429
10,660	50,417	433,619	425,429
10,690	50,914	433,619	425,429

10,720	50,370	433,619	425,429
10,741	50,874	434,393	426,207
10,791	50,834	434,393	426,466
10,831	50,803	434,393	426,466
10,862	50,779	434,393	426,726
10,902	50,747	434,393	426,726
10,922	51,251	434,135	426,466
10,963	51,219	434,135	426,207
10,993	50,676	434,135	426,726
11,023	51,171	434,393	426,466
11,074	51,131	434,393	425,948
11,124	51,091	434,393	426,466
11,134	51,083	434,393	426,466
11,175	51,052	434,393	426,466
11,205	51,028	434,393	425,948
11,235	51,004	434,910	425,948
11,276	50,972	434,393	425,948
11,296	50,956	434,910	425,948
11,336	51,442	434,910	425,948
11,366	50,901	435,168	425,689
11,397	51,394	435,168	426,207
11,437	51,362	435,168	425,948
11,477	50,297	434,393	425,689
11,498	51,314	434,135	425,170
11,538	50,766	434,135	424,911
11,568	50,742	434,135	425,170
11,599	51,751	434,135	424,911
11,629	51,211	434,393	424,911
11,669	51,179	434,393	424,911
11,689	50,648	434,393	424,911
11,740	50,608	434,393	424,911
11,750	50,600	434,393	424,911
11,801	51,076	434,393	424,911
11,831	51,567	434,393	424,911
11,871	51,021	434,393	424,911
11,891	51,005	434,393	424,911
11,922	50,466	434,910	424,911
11,942	50,965	434,393	424,911
11,982	51,448	434,393	424,911
12,023	50,902	434,393	424,911
12,053	51,392	434,910	424,911
12,073	50,862	434,910	425,170
12,103	50,839	434,393	424,911
12,113	51,344	434,910	424,911
12,144	51,321	434,393	424,911
12,154	51,313	434,393	424,911
12,174	51,297	434,393	424,911
12,235	51,249	434,393	425,170
12,255	51,233	434,135	424,652
12,285	51,210	434,135	424,911
12,305	51,194	434,135	425,170
12,336	51,170	433,877	424,911
12,366	51,146	433,619	424,652
12,376	51,138	433,619	424,652
12,416	51,107	433,360	424,652
12,436	51,091	433,360	424,652
12,477	51,059	433,619	424,652
12,517	51,028	433,619	424,652

12,537	51,012	433,360	424,652
12,578	50,980	433,102	424,652
12,608	50,957	433,102	424,652
12,638	50,933	433,360	424,652
12,679	50,902	432,844	424,652
12,709	50,878	433,360	424,652
12,739	50,854	432,844	424,652
12,780	50,823	433,360	424,652
12,840	50,776	433,360	424,652
12,881	50,744	433,360	424,392
12,911	50,721	433,619	424,652
12,941	50,697	433,619	424,392
12,982	50,666	433,619	424,392
13,002	50,650	433,619	424,652
13,032	50,626	434,910	425,429
13,062	51,621	434,393	425,170
13,093	51,597	434,393	425,170
13,133	52,074	434,135	425,170
13,183	51,018	434,393	425,170
13,214	52,011	434,910	425,429
13,234	51,995	434,393	425,170
13,284	50,939	434,910	425,429
13,315	51,423	434,393	424,911
13,355	51,899	434,910	425,170
13,375	51,883	435,168	425,170
13,385	51,876	434,910	425,170
13,436	51,328	434,910	424,911
13,466	51,812	435,168	425,170
13,496	51,281	434,135	424,133
13,517	51,265	433,877	424,133
13,567	51,226	433,877	424,133
13,607	51,194	434,135	424,133
13,628	51,179	433,877	424,133
13,668	51,147	434,135	424,133
13,688	51,132	434,135	424,133
13,718	51,108	434,135	424,133
13,749	51,084	434,135	424,133
13,789	50,547	434,135	424,133
13,819	51,535	434,135	424,133
13,850	51,006	434,135	423,874
13,890	51,480	434,135	424,133
13,920	51,456	434,135	424,133
13,941	51,440	434,135	423,874
13,981	51,409	434,135	423,874
14,011	51,385	434,135	424,133
14,031	51,369	434,135	424,133
14,082	51,330	434,135	423,874
14,102	51,819	434,135	423,874
14,132	51,291	434,135	423,874
14,153	51,275	434,135	423,874
14,223	51,220	434,393	424,133
14,243	51,708	434,135	423,874
14,284	51,173	434,135	423,874
14,314	51,653	434,135	424,133
14,344	51,126	434,135	423,874
14,375	51,102	434,135	423,874
14,395	51,590	434,135	423,874
14,435	51,055	434,135	423,874
14,465	51,534	434,135	423,874
14,516	50,993	434,135	423,874
14,536	50,977	434,393	423,355

14,577	50,946	434,135	423,874
14,597	50,930	434,135	423,874
14,627	50,907	434,135	423,615
14,667	51,377	434,393	423,874
14,718	51,338	434,135	423,874
14,738	51,322	434,393	423,874
14,758	51,307	434,135	423,874
14,799	50,774	434,393	423,874
14,829	50,751	434,135	423,615
14,859	50,728	434,135	423,615
14,900	50,696	434,135	423,615
14,930	51,173	434,393	423,615
14,960	51,150	434,135	423,615
14,980	50,634	434,135	423,615
15,011	51,111	434,135	423,874
15,071	51,064	434,135	423,355
15,081	50,557	434,393	423,874
15,122	51,025	434,393	423,874
15,162	50,994	434,393	423,874
15,202	50,963	434,393	423,874
15,223	50,947	434,135	423,355
15,263	50,916	434,135	423,615
15,273	51,407	434,135	423,615
15,334	50,861	434,393	423,355
15,344	50,355	434,135	423,355
15,374	50,830	434,135	423,615
15,414	50,301	434,135	423,615
15,465	50,760	434,393	424,133
15,505	50,232	434,135	423,615
15,535	50,208	434,135	423,615
15,566	50,185	434,393	423,615
15,596	50,162	434,135	423,355
15,606	50,155	434,135	423,615
15,667	50,605	434,135	423,615
15,687	50,590	434,393	423,615
15,737	50,551	434,135	423,615
15,768	50,528	434,135	423,355
15,808	50,497	434,393	423,615
15,838	50,474	434,393	423,615
15,889	50,435	434,393	423,355
15,919	50,412	434,393	423,355
15,959	50,381	434,393	423,615
15,980	50,366	434,393	423,615
16,000	50,846	434,393	423,355
16,060	50,799	434,393	423,355
16,071	50,792	434,393	423,355
16,111	50,266	434,393	423,615
16,141	50,737	434,135	423,615
16,171	50,714	434,393	423,615
16,212	50,683	434,393	423,355
16,242	50,166	434,393	423,615
16,272	50,637	434,135	423,355
16,313	51,594	434,393	423,615
16,333	50,591	434,393	423,355
16,373	50,066	434,393	423,355
16,394	50,544	434,393	423,615
16,444	50,506	434,393	423,355
16,474	50,483	434,393	423,355

16,515	50,452	434,393	423,615
16,545	50,429	434,393	423,355
16,565	50,413	434,393	423,615
16,616	50,375	434,393	423,615
16,636	50,852	434,910	423,615
16,676	50,821	434,393	423,615
16,696	50,806	434,135	423,355
16,747	50,275	434,393	423,355
16,767	50,752	434,393	423,355
16,818	50,221	434,135	423,355
16,848	50,198	434,393	423,355
16,888	50,168	434,393	423,355
16,918	50,145	434,393	423,355
16,959	50,114	434,393	423,355
16,989	49,600	434,135	423,355
17,019	49,577	434,393	423,355
17,070	50,521	434,393	423,355
17,090	50,505	434,135	423,355
17,130	49,984	434,135	423,355
17,151	49,969	434,393	423,355
17,191	49,938	434,393	423,615
17,221	50,406	434,393	423,355
17,282	50,360	434,393	423,355
17,282	50,849	434,393	423,615
17,322	50,329	434,393	423,615
17,353	50,306	434,135	423,355
17,423	50,741	434,393	423,615
17,433	50,245	434,393	423,355
17,504	50,680	434,393	423,355
17,534	50,657	434,393	423,355
17,564	50,145	434,393	423,615
17,625	50,588	434,135	423,355
17,756	50,488	434,393	423,874
17,958	50,335	434,135	423,355
18,160	50,183	433,877	423,615
18,059	50,259	434,135	424,133
18,130	50,206	433,877	424,133
18,221	50,137	433,619	423,874
18,342	50,046	433,619	423,874
18,433	49,977	433,619	424,133
18,423	50,470	433,360	424,133
18,382	50,015	433,360	424,133
18,433	50,462	433,360	424,133
18,544	50,378	433,360	423,874
18,594	49,856	434,393	425,429
18,635	50,793	434,135	425,170
18,523	50,393	434,135	424,911
18,534	50,870	433,619	424,652
18,594	50,340	433,877	424,911
18,786	50,679	433,877	425,170
18,695	50,264	434,135	425,429
18,695	50,264	434,135	425,170
18,725	50,241	434,135	425,170
18,796	50,671	434,135	425,170
18,836	50,640	434,135	425,170
18,857	51,108	434,135	425,170
18,937	51,047	434,135	425,170
19,109	51,398	434,135	425,170
18,998	51,001	434,393	425,170
19,240	51,298	434,393	425,170
19,109	50,916	434,393	425,170

19,200	51,329	434,393	425,170
19,038	50,970	434,393	425,170
19,392	50,702	434,910	425,170
19,684	50,961	435,168	425,429
19,240	49,855	434,910	425,170
19,270	50,313	434,910	425,170
19,301	50,290	434,910	425,170
19,331	50,268	435,168	425,170
19,361	50,725	435,168	425,429
19,371	50,237	435,168	425,170
19,402	50,214	435,168	425,170
19,442	50,184	435,168	425,429
19,472	50,642	435,168	425,170
19,503	50,139	435,168	425,429
19,523	50,124	435,168	425,170
19,563	50,573	435,168	424,911
19,573	50,565	435,168	425,429
19,614	50,056	435,168	425,429
19,634	50,040	435,168	425,429

7.2. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 60 kPa

CÓDIGO CORPO DE PROVA	CP12-60 kPa	
Data moldagem:	16.05.2018	
Data saturação:	17.05.2018	
Data adensamento:	17.05.2018	
Data cisalhamento:	18.05.2018	
Tensão efetiva de ensaio (kPa):	100	
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)	5	
Altura especificada Corpo de prova (cm)	10	
Teor de Umidade (meta) (%)	20,0%	
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm ³)	0,800	
G_{solo}	3,27	
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM		
Umidade média (%)	19,10%	
Massa CP úmido (g)	188,3	
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)	5,010	
Altura média Corpo de prova (cm)	9,940	
Área Corpo de prova (cm ²)	19,714	
Volume Corpo de prova (cm ³)	195,953	
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm ³)	0,961	
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm ³)	0,807	
Peso Solo obtido (g)	158,102	
Vol Solo obtido (cm ³)	48,349	
Volume vazios obtido (cm ³)	147,604	
Grau de compactação (%)	100,85%	
Variação teor umidade (%)	-0,90%	
Variação diâmetro (mm)	0,010	
Variação altura (mm)	-0,060	
e após moldagem	3,053	
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO		
Leitura inicial volumétrico	V	6,697
Leitura final volumétrico	V	5,464
Volume final após adensamento	cm ³	179,084
Diâmetro final após adensamento	cm	4,866
Altura final após adensamento	cm	9,655

e pos consolidação	2,945
--------------------	-------

Ensaio a 60 kPa			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,000	0,000	616,467	559,721
0,021	6,663	613,626	559,721
0,064	18,163	613,626	563,091
0,096	27,842	613,884	566,202
0,118	36,311	614,142	568,535
0,150	43,556	614,142	570,609
0,171	50,201	614,142	572,943
0,214	55,611	614,401	574,239
0,235	60,433	614,659	575,794
0,267	62,216	614,401	576,831
0,310	66,407	614,917	578,128
0,342	68,791	615,175	579,683
0,374	72,384	615,175	580,461
0,406	74,161	615,692	581,757
0,417	75,961	613,626	580,461
0,449	77,132	613,626	580,720
0,481	77,699	613,626	581,239
0,523	78,252	613,626	582,016
0,545	80,038	614,142	583,053
0,588	81,193	614,142	583,313
0,609	81,167	613,626	583,313
0,641	81,731	614,142	584,090
0,694	83,475	613,626	584,090
0,716	83,448	613,884	584,868
0,737	83,422	613,109	584,350
0,769	83,985	613,626	585,127
0,812	84,534	613,626	585,646
0,844	85,698	614,142	586,424
0,855	85,685	614,142	586,424
0,897	86,233	614,401	586,942
0,940	87,382	614,917	587,720
0,961	87,355	614,917	588,238
1,015	87,888	615,175	588,498
1,036	87,861	613,626	587,201
1,068	87,820	613,626	587,461
1,100	87,780	614,142	587,720
1,143	88,325	613,368	587,201
1,175	88,884	613,626	587,720
1,196	88,857	613,626	588,238
1,229	88,816	614,142	588,238
1,271	89,361	613,368	587,720
1,282	89,347	613,626	588,238
1,325	89,292	613,884	588,757
1,357	89,850	614,142	589,016
1,410	90,979	613,626	588,498
1,431	90,951	613,626	589,016
1,464	90,311	614,142	589,275

1,474	92,092	614,142	589,794
1,517	91,438	614,917	589,794
1,538	91,410	613,626	589,016
1,581	91,952	613,626	589,016
1,624	91,896	614,142	589,794
1,645	93,063	614,142	589,794
1,677	91,827	614,401	590,312
1,709	92,979	614,659	590,572
1,741	92,936	613,368	589,275
1,784	93,477	613,626	589,794
1,827	94,016	613,884	590,053
1,837	94,002	614,142	590,312
1,859	94,570	614,142	590,572
1,902	94,513	614,401	590,572
1,944	93,266	613,368	589,794
1,987	94,400	613,626	589,794
2,008	94,966	614,142	590,312
2,051	94,910	614,142	590,572
2,083	94,272	614,142	590,572
2,105	94,839	613,626	590,053
2,137	95,390	614,142	590,572
2,158	95,362	614,142	590,572
2,211	95,291	614,401	590,831
2,243	95,842	614,917	591,349
2,265	96,407	614,917	591,349
2,297	96,363	613,109	590,053
2,340	96,306	613,626	590,572
2,361	96,870	614,142	590,572
2,404	96,220	614,142	590,572
2,446	96,163	614,142	591,090
2,478	96,120	614,917	591,349
2,500	96,091	613,884	590,572
2,532	96,640	613,626	590,312
2,564	96,005	613,626	590,572
2,596	97,738	614,142	590,831
2,628	98,286	614,142	591,090
2,671	96,454	614,401	591,349
2,703	97,002	613,626	590,572
2,735	97,550	614,142	590,831
2,756	97,521	614,142	591,090
2,799	96,873	614,401	591,349
2,842	97,996	613,626	590,572
2,874	97,952	614,142	590,831
2,884	97,938	614,142	591,090
2,927	98,470	614,401	590,831
2,959	97,837	613,884	590,572
2,991	98,972	613,884	590,831
3,023	98,929	614,142	591,090
3,055	99,474	614,401	591,349
3,077	98,856	613,626	590,053
3,109	98,812	613,626	590,572
3,151	99,931	614,142	590,572
3,173	98,725	614,142	590,831
3,216	99,843	614,401	591,090
3,248	99,800	613,626	590,053
3,280	98,580	613,626	590,312
3,301	98,551	614,142	590,572
3,333	99,683	614,142	590,572
3,365	100,226	614,142	591,090
3,408	99,580	614,401	591,349
3,418	99,566	614,917	591,349

3,461	100,094	614,917	591,349
3,504	100,036	615,175	591,609
3,525	100,006	613,626	590,572
3,579	99,933	614,142	590,572
3,579	100,519	614,142	590,831
3,621	99,875	614,142	590,831
3,654	99,831	613,626	590,312
3,707	99,758	614,142	590,312
3,707	99,758	614,142	590,572
3,739	99,714	614,142	590,831
3,782	100,241	614,401	590,831
3,824	100,182	613,626	589,794
3,835	100,752	613,626	590,312
3,889	99,510	614,142	590,572
3,921	100,051	614,142	590,572
3,942	100,606	614,142	590,831
3,974	100,562	614,659	590,831
4,006	101,685	613,626	590,312
4,049	101,043	613,884	590,572
4,059	101,611	614,142	590,572
4,102	100,969	614,401	590,831
4,145	101,493	613,109	589,794
4,166	101,464	613,626	589,794
4,198	101,420	613,626	590,053
4,241	101,361	613,884	590,053
4,273	100,734	614,142	590,572
4,305	101,273	614,401	590,831
4,337	101,228	613,626	589,794
4,359	101,199	613,626	590,053
4,391	101,155	614,142	590,053
4,423	101,692	614,142	590,572
4,455	102,229	613,626	589,794
4,487	101,604	613,626	589,794
4,530	101,545	613,884	590,053
4,551	101,516	614,142	590,312
4,572	101,486	614,401	590,572
4,615	101,427	614,659	590,572
4,658	102,529	614,917	590,831
4,679	101,919	614,142	590,053
4,700	101,890	613,109	589,275
4,743	101,831	613,626	589,794
4,775	102,366	613,626	589,794
4,807	102,322	613,884	589,794
4,839	102,277	612,851	589,016
4,882	102,218	613,626	589,794
4,903	102,189	614,142	590,053
4,946	102,130	613,626	589,275
4,989	101,492	613,884	589,794
5,021	103,183	613,626	589,275
5,053	102,560	613,626	589,794
5,064	101,968	613,884	589,794
5,117	101,894	614,142	590,053
5,128	101,879	613,109	589,016
5,160	102,990	613,626	589,275
5,203	102,931	613,626	589,794
5,235	102,309	613,884	589,794
5,267	102,842	614,142	590,053
5,320	101,615	614,401	590,053

5,341	102,739	614,659	590,572
5,373	102,118	614,142	589,794
5,405	103,226	614,142	589,794
5,448	103,167	613,368	589,275
5,491	103,107	613,884	589,794
5,502	103,093	614,142	589,794
5,544	103,033	614,142	589,794
5,566	103,004	613,626	589,275
5,619	102,930	613,109	589,016
5,630	104,640	613,626	589,016
5,662	104,020	613,626	589,016
5,726	103,931	613,626	589,275
5,737	103,916	613,109	589,016
5,769	103,871	613,109	589,016
5,811	104,386	613,626	589,275
5,833	103,782	614,142	589,275
5,876	103,149	613,109	589,016
5,918	104,237	613,626	589,016
5,929	103,649	613,626	589,016
5,982	103,001	614,142	589,016
6,004	104,690	613,109	588,757
6,025	104,661	613,368	589,016
6,057	104,616	613,626	589,016
6,100	104,556	613,884	589,275
6,132	104,511	614,142	589,275
6,185	104,437	614,142	589,794
6,207	104,407	614,401	589,794
6,228	104,949	614,917	590,053
6,271	105,461	613,109	588,498
6,292	104,288	613,109	588,757
6,346	104,214	613,626	589,016
6,378	104,169	613,884	589,016
6,388	104,725	614,142	589,275
6,420	104,110	614,142	589,794
6,463	104,050	614,142	589,794
6,484	104,021	614,917	589,794
6,527	103,961	614,917	590,053
6,570	103,902	615,175	590,053
6,591	103,872	614,142	589,016
6,613	103,843	613,626	588,498
6,666	103,769	613,626	588,757
6,698	103,724	614,142	589,016
6,730	103,680	612,851	587,979
6,762	103,636	613,368	588,498
6,794	104,160	613,626	588,498
6,837	103,532	613,884	589,016
6,858	104,071	613,109	588,498
6,901	103,444	613,626	588,498
6,933	103,967	614,142	589,016
6,944	103,385	614,142	589,016
6,987	103,893	613,109	587,979
7,040	103,252	613,109	588,238
7,061	103,790	613,626	588,498
7,072	103,775	613,884	588,498
7,104	104,298	614,142	588,757
7,168	103,642	613,626	588,238
7,200	103,598	613,626	588,238
7,232	104,120	613,626	588,498
7,264	104,076	614,142	588,498
7,296	104,598	613,626	588,238
7,328	104,553	613,884	588,238

7,350	104,523	614,142	588,498
7,371	104,494	614,142	588,498
7,414	103,869	614,142	588,498
7,446	104,390	614,659	589,016
7,478	103,781	614,917	589,275
7,521	104,286	614,917	589,275
7,553	104,242	615,175	589,794
7,585	104,198	615,692	589,794
7,606	104,168	612,851	587,201
7,638	104,124	613,626	587,979
7,681	104,065	613,626	588,238
7,702	104,035	614,142	588,498
7,745	103,976	613,884	588,238
7,766	103,947	614,142	588,238
7,798	103,903	614,142	588,498
7,841	103,281	614,142	588,498
7,873	103,800	614,142	588,238
7,905	104,318	613,626	587,720
7,937	104,274	613,884	587,720
7,969	104,230	614,142	588,238
7,991	104,200	614,142	588,498
8,055	104,112	614,401	588,498
8,066	104,097	614,659	589,016
8,098	104,053	613,368	587,461
8,119	104,023	613,626	587,720
8,162	103,964	613,884	587,979
8,194	103,359	613,884	587,979
8,226	103,876	614,142	588,238
8,268	103,817	614,142	588,498
8,290	103,227	614,659	588,498
8,311	103,759	614,917	588,498
8,343	104,275	614,917	589,016
8,386	103,656	615,175	589,275
8,407	103,067	615,434	589,794
8,439	104,143	615,692	589,794
8,471	104,099	615,692	589,794
8,493	104,069	615,692	590,053
8,546	103,436	616,467	590,053
8,578	103,392	616,725	590,572
8,589	103,937	612,851	586,942
8,632	103,319	613,109	586,942
8,653	102,731	613,368	587,201
8,696	103,790	613,626	587,201
8,728	102,629	613,626	587,461
8,749	103,717	614,142	587,720
8,781	102,557	614,142	587,979
8,803	104,202	613,109	587,201
8,835	103,600	613,626	587,201
8,888	103,527	613,626	587,461
8,909	102,382	613,626	587,720
8,942	102,339	614,142	587,720
8,974	102,295	613,109	586,942
9,006	102,252	614,142	587,720
9,038	102,209	613,626	587,201
9,080	102,151	613,626	587,461
9,102	102,678	614,142	587,720
9,144	102,064	614,142	587,720
9,166	102,035	614,142	588,238

9,198	101,992	614,401	588,238
9,230	101,948	613,109	587,201
9,262	101,905	613,626	587,201
9,294	101,862	613,884	587,461
9,337	101,804	614,142	587,720
9,369	101,761	613,109	586,942
9,401	101,718	613,109	586,942
9,433	101,674	613,626	586,942
9,465	101,631	613,626	587,201
9,508	101,574	613,884	587,201
9,508	101,574	613,884	587,720
9,561	101,502	614,142	587,720
9,593	100,905	614,142	588,238
9,615	100,876	614,659	588,238
9,657	101,372	614,917	588,498
9,689	101,329	613,109	586,942
9,711	101,301	613,368	586,942
9,753	100,690	613,626	587,201
9,796	100,633	613,626	587,201
9,828	100,590	613,626	587,720
9,871	100,533	614,142	587,979
9,903	100,490	614,142	587,979
9,924	100,462	614,401	588,238
9,967	99,853	612,851	586,683
9,999	99,810	612,851	586,942
10,031	100,320	612,851	586,942
10,053	99,740	613,368	586,942
10,085	100,248	613,626	587,201
10,117	100,206	613,626	587,720
10,159	100,149	614,142	587,720
10,181	100,121	614,142	587,720
10,223	99,513	614,142	588,238
10,255	99,471	614,659	588,498
10,288	99,979	614,917	588,498
10,320	99,386	614,917	589,016
10,341	99,358	614,917	589,016
10,373	98,765	615,175	589,016
10,416	98,709	613,368	587,201
10,448	98,667	613,884	587,720
10,480	98,625	614,142	587,720
10,512	98,583	614,142	588,238
10,533	98,555	614,659	588,238
10,576	98,499	614,917	588,498
10,608	97,359	614,917	588,498
10,640	97,866	613,109	586,942
10,683	97,810	613,109	587,201
10,715	97,769	613,626	587,461
10,747	97,727	613,626	587,201
10,779	98,233	614,142	587,720
10,800	97,109	613,109	586,942
10,832	95,973	613,109	587,201
10,864	95,931	613,626	587,720
10,896	96,437	613,626	587,720
10,950	96,369	614,142	587,720
10,982	96,874	614,142	588,238
11,025	96,272	613,626	587,720
11,046	96,245	614,142	587,720
11,078	96,203	614,142	588,238
11,110	96,162	614,142	588,238
11,142	96,667	613,626	587,461
11,185	96,066	613,626	587,720

11,217	95,479	613,884	587,979
11,238	95,997	614,142	588,238
11,270	95,411	614,142	588,498
11,302	95,915	614,142	588,498
11,334	95,329	614,401	588,498
11,356	95,301	613,368	587,461
11,388	95,261	613,626	587,720
11,441	95,192	613,626	587,720
11,463	95,165	613,884	588,238
11,495	95,124	614,142	588,238
11,516	95,097	614,142	588,498
11,537	95,070	614,142	588,498
11,602	94,988	614,401	589,016
11,634	94,947	614,917	589,016
11,676	94,893	614,142	588,238
11,687	93,793	614,142	588,498
11,730	93,739	614,142	588,498
11,751	94,798	614,142	588,498
11,794	94,201	614,659	589,016
11,837	93,604	614,917	589,016
11,858	93,577	613,109	588,238
11,890	93,537	613,626	588,238
11,922	92,954	613,626	588,498
11,965	92,901	614,142	588,757
11,986	93,416	614,142	588,757
12,007	93,389	614,142	589,016
12,061	92,781	614,142	589,016
12,104	92,727	614,401	589,275
12,114	93,255	614,917	589,794
12,157	92,661	613,368	588,238
12,178	92,634	613,626	588,498
12,221	92,581	613,626	588,498
12,253	92,541	613,626	589,016
12,285	92,501	613,884	589,016
12,317	92,461	613,884	589,016
12,339	92,434	614,142	589,275
12,381	92,381	614,401	589,275
12,413	92,341	614,142	589,016
12,456	92,288	614,142	589,275
12,478	92,261	613,626	588,498
12,499	92,235	613,626	588,757
12,542	92,182	613,626	589,016
12,584	92,129	613,884	589,016
12,616	91,011	613,626	589,016
12,638	90,985	614,142	589,275
12,680	90,394	614,401	589,794
12,713	90,893	614,401	589,794
12,734	91,405	614,401	590,053
12,787	90,801	614,917	590,572
12,819	90,762	614,917	590,572
12,841	90,198	613,626	589,016
12,873	90,159	613,884	589,275
12,894	90,670	613,626	589,275
12,926	90,631	612,593	588,238
12,969	90,578	613,626	589,275
13,033	90,500	614,142	589,794
13,044	90,487	614,142	589,794
13,097	90,421	614,401	590,053

13,097	90,421	614,659	590,572
13,161	89,807	614,917	590,572
13,172	90,330	613,368	589,275
13,193	89,768	613,626	589,794
13,236	90,252	613,626	589,794
13,279	90,200	614,142	589,794
13,321	90,148	614,142	590,053
13,353	89,573	614,142	590,312
13,396	90,056	614,401	590,572
13,428	90,017	613,884	590,053
13,460	89,978	614,142	590,312
13,492	89,939	614,142	590,572
13,503	89,926	614,401	590,831
13,546	89,875	613,626	589,794
13,589	89,823	613,368	589,794
13,610	90,865	613,884	590,053
13,653	90,279	613,626	590,312
13,685	89,706	614,142	590,572
13,738	90,174	614,142	590,572
13,749	90,695	614,401	590,831
13,791	90,643	614,401	590,831
13,824	90,070	614,917	591,609
13,866	90,551	613,626	590,312
13,898	90,512	613,626	590,572
13,920	91,019	613,884	590,831
13,962	90,434	614,142	590,831
13,994	90,395	614,142	591,349
14,016	90,369	614,142	591,090
14,069	90,304	614,401	591,349
14,101	90,265	614,917	591,609
14,144	90,744	614,917	592,127
14,176	90,174	613,109	590,053
14,208	90,135	613,109	590,053
14,240	90,096	613,109	590,572
14,272	91,119	613,626	590,572
14,326	89,993	613,368	590,572
14,336	91,041	613,626	590,831
14,379	90,458	613,884	590,831
14,400	90,432	614,142	591,090
14,454	91,427	614,142	591,349
14,475	91,401	614,142	591,609
14,507	91,362	614,142	591,609
14,561	91,826	613,626	590,831
14,582	91,799	613,884	591,349
14,625	91,218	613,626	591,090
14,657	91,708	614,142	591,349
14,678	91,153	614,142	591,609
14,710	91,642	614,142	591,609
14,742	91,603	614,142	592,127
14,774	91,564	614,401	592,127
14,806	92,053	614,917	592,127
14,838	92,013	614,659	592,386
14,881	93,017	614,917	592,386
14,924	92,964	614,917	592,386
14,935	92,951	615,175	592,646
14,988	92,885	615,692	592,905
15,020	92,845	615,692	592,905
15,052	92,805	615,692	592,905
15,084	93,293	616,208	593,423
15,116	92,726	616,208	593,423
15,138	93,753	616,467	593,942

15,191	93,687	616,725	594,201
15,212	93,660	616,725	594,201
15,244	93,621	616,725	594,201
15,276	93,581	616,983	594,460
15,308	94,067	616,983	594,460
15,351	92,437	613,109	590,831
15,383	93,449	613,626	590,831
15,405	93,948	613,368	591,090
15,458	93,881	613,626	591,349
15,490	93,317	613,626	591,349
15,511	93,815	613,626	591,349
15,554	93,762	614,142	591,349
15,597	94,233	614,142	591,609
15,629	94,194	614,142	591,349
15,650	94,691	614,401	592,127
15,672	94,665	614,659	592,127
15,704	95,149	614,917	592,127
15,768	95,068	613,368	590,572
15,778	95,579	613,368	590,572
15,832	94,988	613,626	590,831
15,843	94,975	613,626	591,349
15,896	94,908	613,626	591,349
15,907	94,895	613,368	590,572
15,939	94,855	613,626	590,831
15,981	94,802	613,626	591,349
15,992	94,788	613,884	590,831
16,046	94,722	613,626	591,090
16,088	94,669	614,142	591,349
16,110	94,642	614,142	591,349
16,152	95,111	614,142	591,349
16,163	95,619	614,401	591,609
16,206	95,044	614,659	591,609
16,249	94,469	613,368	590,312
16,270	96,007	613,626	590,572
16,313	95,432	613,368	590,572
16,334	96,447	613,626	590,572
16,366	96,407	613,626	590,831
16,398	96,366	614,142	590,831
16,452	95,779	613,884	591,349
16,484	95,739	613,626	590,831
16,505	96,232	613,626	590,572
16,526	96,205	613,626	590,572
16,558	96,165	613,626	590,831
16,590	96,125	613,884	590,831
16,622	96,085	614,142	590,831
16,665	96,031	614,142	591,349
16,687	96,004	614,142	591,349
16,729	95,951	614,401	591,349
16,761	96,430	613,626	590,572
16,783	96,403	613,626	590,572
16,804	95,857	613,626	590,572
16,847	95,804	613,626	590,572
16,879	95,764	614,142	590,831
16,911	96,242	614,142	590,831
16,954	95,670	614,142	591,349
16,975	96,679	613,626	590,572
17,028	97,130	613,884	590,831
17,039	96,081	614,142	590,831

17,082	97,063	614,142	591,090
17,114	93,401	614,142	591,090
17,114	97,000	613,109	591,609
17,135	97,000	613,626	592,127
17,167	97,000	613,626	591,609
17,221	95,337	613,626	590,831
17,231	95,324	613,626	590,831
17,263	96,834	613,884	590,831
17,285	96,807	614,142	590,831
17,328	97,270	614,142	591,090
17,370	96,700	614,142	590,831
17,392	96,673	614,142	591,349
17,434	96,619	614,659	591,609
17,456	96,593	614,917	591,609
17,498	96,539	614,917	591,609
17,520	96,512	614,917	591,609
17,552	96,472	614,917	591,609
17,595	96,934	615,175	592,127
17,616	97,422	615,692	592,386
17,659	97,368	615,692	592,386
17,680	96,826	615,950	592,646
17,733	97,274	616,208	592,905
17,755	97,247	616,208	592,646
17,787	97,207	616,467	592,905
17,819	96,652	616,467	593,423
17,851	97,126	616,725	593,683
17,883	96,572	616,983	593,683
17,904	96,032	616,983	593,683
17,958	96,992	617,500	593,942
17,979	96,965	617,500	594,201
18,011	96,925	617,758	594,201
18,043	96,372	618,016	594,460
18,075	96,332	618,016	594,720
18,118	97,304	618,274	594,979
18,129	97,290	618,274	594,979
18,182	97,223	618,791	595,238
18,225	97,169	618,791	595,238
18,246	97,143	619,307	595,757
18,268	96,604	619,307	595,757
18,310	97,062	619,307	596,016
18,332	97,035	619,566	596,016
18,374	96,982	619,824	596,275
18,406	96,942	620,082	596,534
18,439	96,902	620,082	596,794
18,481	96,848	620,082	596,794
18,513	96,808	620,341	597,053
18,545	97,279	620,857	597,312
18,567	97,252	620,857	597,571
18,620	97,185	621,115	597,571
18,631	96,661	621,115	597,571
18,674	96,608	621,632	598,090
18,695	97,091	621,632	598,349
18,727	97,051	621,890	598,349
18,770	96,998	621,890	598,608
18,802	96,448	622,148	598,608
18,823	97,441	622,407	598,868
18,898	96,838	622,665	598,868
18,909	96,824	622,665	599,386
18,930	97,307	622,665	599,386
18,973	96,744	623,181	599,645
19,015	96,691	623,181	599,645

19,047	96,651	623,440	599,645
19,058	96,130	623,440	599,905
19,112	96,571	623,440	600,423
19,133	96,545	623,956	600,423
19,176	96,492	624,214	600,682
19,186	96,478	624,214	600,942
19,229	96,933	624,731	601,201
19,261	96,385	624,731	601,201
19,304	96,332	624,989	601,719
19,336	96,800	625,247	601,719
19,368	96,760	625,247	601,979
19,389	96,226	625,247	601,979
19,432	96,173	625,764	601,979
19,453	96,147	626,022	602,497
19,485	96,107	626,022	602,497
19,528	96,054	626,281	602,756
19,550	96,534	626,539	603,016
19,614	96,454	626,797	603,275
19,614	96,454	627,055	603,275
19,667	95,883	627,055	603,793
19,688	96,362	627,314	603,793
19,731	96,309	627,572	604,053
19,742	96,296	627,314	604,053
19,795	96,229	627,830	604,571
19,827	96,695	627,830	604,571
19,849	96,163	627,830	604,571
19,891	96,110	628,605	605,090
19,913	96,084	628,605	605,349
19,945	96,549	628,605	605,349
19,988	95,992	628,605	605,349
20,020	95,952	628,863	605,608
20,052	95,913	629,121	605,867
20,084	96,377	629,380	606,127
20,105	95,847	629,638	606,127
20,158	95,781	629,896	606,386
20,190	96,245	630,413	606,904
20,212	96,722	630,154	606,904
20,244	95,676	630,413	606,904
20,287	95,623	630,671	607,164
20,308	95,597	630,671	607,164
20,351	96,549	630,671	607,682
20,372	96,523	631,187	607,682
20,415	96,470	631,187	607,941
20,458	96,417	631,446	607,941
20,479	95,387	631,446	608,460
20,522	95,836	631,962	608,719
20,543	95,810	631,962	608,719
20,575	96,272	631,962	608,978
20,618	96,220	632,220	608,978
20,650	96,180	632,220	608,978
20,671	96,154	632,737	609,238
20,725	95,587	632,737	609,497
20,757	95,548	632,995	609,756
20,778	96,022	632,995	610,015
20,831	95,956	633,254	610,015
20,853	96,430	633,512	610,275
20,896	95,878	633,770	610,275
20,906	95,864	633,770	610,534

20,949	95,812	634,287	610,793
20,970	95,786	634,287	610,793
21,024	95,720	633,770	611,052
21,066	95,668	634,287	611,312
21,088	96,141	634,287	611,312
21,109	95,615	634,803	611,571
21,152	96,062	635,061	611,571
21,184	96,023	634,803	611,571
21,216	95,983	635,061	611,830
21,259	95,432	635,320	612,349
21,312	95,865	635,578	612,349
21,323	95,852	635,578	612,349
21,366	95,800	635,578	612,608
21,387	95,774	635,836	612,867
21,430	95,721	636,094	612,867
21,462	96,180	636,353	613,126
21,494	96,638	636,353	613,386
21,537	96,088	636,353	613,386
21,569	96,049	636,611	613,645
21,611	96,493	636,869	613,904
21,633	95,970	636,611	613,904
21,675	95,918	637,386	614,163
21,686	96,401	637,386	614,163
21,739	96,336	637,386	614,423
21,772	96,296	637,902	614,682
21,814	95,748	637,902	614,941
21,836	96,218	638,160	614,941
21,878	96,165	638,160	615,200
21,910	96,126	638,160	615,200
21,964	96,061	638,419	615,200
21,985	96,530	638,677	615,719
22,017	95,995	638,677	615,719
22,049	95,956	638,677	615,978
22,081	95,917	638,677	615,978
22,135	96,346	638,935	615,978
22,145	96,333	639,452	616,497
22,210	96,749	639,452	616,497
22,242	95,721	639,452	616,497
22,263	96,189	639,452	616,756
22,306	96,631	639,452	616,756
22,338	96,098	639,968	616,756
22,359	97,059	639,968	616,756
22,402	96,513	639,968	617,015
22,434	95,980	639,968	616,756
22,466	95,941	639,968	617,015
22,498	96,395	639,968	617,274
22,530	96,849	639,968	617,274
22,551	97,316	639,968	617,274
22,594	97,756	639,968	617,274
22,637	97,211	639,968	617,015
22,669	97,171	639,710	616,756
22,712	97,119	639,710	616,756
22,744	97,571	638,935	616,497
22,786	97,027	638,160	615,460
22,797	97,014	637,127	614,163
22,851	96,456	635,320	612,349
22,883	96,417	632,995	610,275
22,904	96,391	630,413	607,682
22,947	95,847	627,830	605,349
22,968	95,821	626,022	603,275
23,000	95,782	624,473	601,719

23,043	95,240	623,181	600,164
23,086	95,678	621,890	599,386
23,118	95,640	621,115	598,868
23,139	95,614	620,857	598,349
23,182	96,052	620,341	597,571
23,214	96,013	620,082	597,571
23,246	95,484	619,824	597,312
23,278	95,445	620,082	597,312
23,321	94,904	619,824	597,312
23,353	95,354	619,824	597,053
23,363	95,341	619,824	597,312
23,395	95,792	620,082	597,312
23,449	95,238	620,082	597,312
23,470	95,701	620,082	597,312
23,502	95,662	620,082	597,312
23,534	94,157	620,082	597,053
23,566	95,096	620,341	597,312
23,609	95,044	620,082	597,312
23,630	95,507	620,082	597,312
23,673	94,967	620,341	597,571
23,705	95,417	620,341	597,571
23,737	95,378	620,599	597,571
23,780	95,326	620,599	597,571
23,801	95,300	620,599	597,571
23,823	95,762	620,857	598,090
23,855	95,236	620,857	598,090
23,897	95,184	620,857	597,571
23,929	95,146	620,857	598,090
23,962	95,594	621,115	598,349
23,983	96,055	621,115	598,608
24,015	96,016	621,115	598,349
24,058	95,478	621,115	598,349
24,100	95,426	621,115	598,608
24,122	95,400	621,115	598,608
24,143	95,861	621,115	598,608
24,186	95,809	621,632	598,868
24,207	95,783	621,632	598,608
24,261	96,204	621,632	598,608
24,282	96,178	621,890	599,386
24,314	95,654	621,890	598,868
24,357	95,602	621,890	598,868
24,389	96,049	621,890	599,386
24,410	96,023	621,890	599,386
24,442	95,984	622,148	599,386
24,485	95,447	622,148	599,386
24,517	95,893	622,665	599,645
24,538	95,383	622,407	599,386
24,570	96,313	622,665	599,645
24,602	96,274	622,665	599,645
24,635	96,235	622,665	599,645
24,656	95,726	622,665	600,164
24,699	96,158	622,923	600,164
24,741	96,106	623,181	600,164
24,773	96,067	623,181	600,164
24,805	95,545	623,181	600,164
24,827	96,003	623,440	600,423
24,859	95,964	623,440	600,423
24,902	95,912	623,440	600,682

24,934	96,357	623,440	600,682
24,955	95,848	623,956	600,942
24,998	95,796	624,214	601,201
25,019	95,771	623,956	600,942
25,062	95,719	624,214	601,201

7.3. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 75kPa

CÓDIGO CORPO DE PROVA		CP23-100 kPa
Data moldagem:		14.08.2018
Data saturação:		15.08.2018
Data adensamento:		15.08.2018
Data cisalhamento:		16.08.2018
Tensão efetiva de ensaio (kPa):		100
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)		5
Altura especificada Corpo de prova (cm)		10
Teor de Umidade (meta) (%)		20,0%
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm ³)		0,900
G_{solo}		3,27
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM		
Umidade média (%)		20,00%
Massa CP úmido (g)		212,05
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)		5,000
Altura média Corpo de prova (cm)		9,940
Área Corpo de prova (cm ²)		19,635
Volume Corpo de prova (cm ³)		195,171
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm ³)		1,086
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm ³)		0,905
Peso Solo obtido (g)		176,708
Vol Solo obtido (cm ³)		54,039
Volume vazios obtido (cm ³)		141,132
Grau de compactação (%)		100,60%
Variação teor umidade (%)		0,00%
Variação diâmetro (mm)		0,000
Variação altura (mm)		-0,060
e após moldagem		2,612
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO		
Volume final após adensamento	cm ³	192,237
Diâmetro final após adensamento	cm	5,031
Altura final após adensamento	cm	9,672

e pos consolidação			2,773
Ensaio a 75kPa			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,003	0,000	505,415	430,614
0,007	11,889	505,157	435,281
0,011	21,979	505,415	439,429
0,017	31,478	505,157	443,318
0,022	41,568	505,157	446,947
0,030	49,846	505,157	450,058
0,038	57,548	505,415	452,910
0,046	64,653	505,157	455,243
0,055	71,741	505,157	457,836
0,061	77,043	505,157	460,169
0,073	82,341	505,157	461,724
0,079	85,263	505,415	463,798
0,088	88,760	505,157	464,576
0,099	88,744	505,415	466,391
0,111	88,681	505,415	467,687
0,116	86,824	505,415	469,243
0,125	86,201	505,415	470,798
0,130	86,747	505,415	472,094
0,139	87,884	505,415	473,391
0,149	89,628	505,157	474,168
0,149	90,748	505,415	475,465
0,154	91,291	505,157	476,502
0,162	92,442	505,415	477,539
0,168	94,151	505,157	477,798
0,175	95,300	505,157	478,835
0,182	96,449	505,415	479,613
0,186	98,171	505,415	480,390
0,193	99,285	505,415	480,909
0,199	100,414	505,157	481,427
0,205	101,509	505,415	481,946
0,216	103,262	505,157	482,724
0,221	104,979	505,415	482,724
0,224	106,123	505,415	483,242
0,232	107,214	505,157	483,761
0,237	109,517	505,415	484,020
0,243	109,481	505,415	484,538
0,254	110,586	505,157	484,798
0,259	111,709	505,157	485,057
0,264	113,456	505,157	485,316
0,275	115,147	505,415	485,316
0,278	115,680	505,415	485,316
0,285	116,781	505,415	485,575
0,295	117,919	505,415	486,094
0,301	119,037	505,415	486,094
0,306	120,723	505,415	486,353
0,318	121,859	505,415	486,353
0,325	122,956	505,673	486,353
0,332	124,071	505,157	486,353
0,344	124,600	505,157	486,353
0,354	126,339	505,415	486,353
0,363	127,433	505,673	486,353
0,370	127,960	505,415	486,353
0,383	129,072	505,157	486,353

0,415	129,577	505,415	486,353
0,437	129,537	505,157	486,353
0,469	130,043	505,415	486,353
0,501	131,737	505,415	486,353
0,522	131,697	505,415	486,353
0,554	132,785	505,415	486,353
0,597	133,329	505,673	486,094
0,639	134,437	505,415	486,094
0,671	134,375	505,415	485,575
0,693	134,898	505,157	485,575
0,714	136,004	505,673	485,575
0,746	137,088	505,673	485,575
0,789	137,609	505,415	485,316
0,810	137,526	505,415	485,316
0,853	138,630	505,415	485,316
0,885	139,192	505,415	485,057
0,917	140,273	505,157	485,057
0,959	140,210	505,673	484,798
0,991	141,872	505,157	484,798
1,002	142,391	505,415	484,538
1,034	141,745	505,673	484,538
1,087	142,866	505,157	484,020
1,109	142,802	505,415	484,020
1,151	144,482	505,415	483,761
1,183	144,977	505,415	483,761
1,205	144,332	505,415	483,242
1,237	146,010	505,157	483,242
1,279	145,945	505,415	483,242
1,300	146,482	505,415	482,724
1,343	147,019	505,415	482,464
1,364	148,092	505,415	482,724
1,396	148,606	505,415	482,464
1,428	148,541	505,415	482,464
1,460	148,497	505,157	481,946
1,482	148,967	505,415	481,687
1,514	148,901	505,415	481,687
1,535	149,414	505,157	481,168
1,556	149,927	505,673	481,168
1,599	150,462	505,157	480,909
1,620	150,418	505,415	480,650
1,642	150,286	505,415	480,390
1,674	151,420	505,673	480,390
1,706	152,509	505,415	480,131
1,738	152,376	505,415	479,613
1,770	152,331	505,415	479,613
1,812	152,864	505,415	479,353
1,823	152,797	505,415	479,353
1,866	153,907	505,673	479,353
1,919	153,795	505,415	478,835
1,940	154,304	505,157	478,576
1,972	154,259	505,415	478,576
2,004	153,638	505,673	478,057
2,026	154,125	505,157	478,057
2,068	154,634	505,415	477,539
2,100	154,544	505,415	477,539
2,122	155,052	505,157	477,279
2,164	155,582	505,415	477,020
2,186	156,067	505,415	476,761

2,207	156,620	505,415	476,761
2,239	155,955	505,415	476,761
2,282	157,014	505,415	476,502
2,314	156,968	505,415	475,983
2,367	156,878	505,415	475,983
2,378	157,406	505,415	475,983
2,410	157,338	505,415	475,724
2,431	157,270	505,415	475,465
2,484	157,799	505,157	475,205
2,516	158,281	505,673	475,205
2,537	158,258	505,415	474,946
2,580	158,145	505,157	474,946
2,612	158,054	505,157	474,428
2,623	158,604	505,415	474,428
2,665	158,535	505,673	474,168
2,697	159,016	505,415	474,168
2,740	159,543	505,415	474,168
2,761	160,023	505,415	473,650
2,793	159,406	505,415	473,391
2,836	159,292	505,415	473,391
2,857	159,817	505,673	473,391
2,900	160,297	505,673	473,391
2,932	160,228	505,415	472,872
2,964	159,612	505,673	472,872
2,975	160,684	505,673	472,872
3,017	160,593	505,673	472,354
3,049	161,117	505,673	472,354
3,081	161,071	505,673	472,094
3,124	161,025	505,673	472,354
3,145	162,050	505,673	471,835
3,188	161,411	505,673	471,835
3,220	161,319	505,157	471,576
3,241	162,411	505,415	471,317
3,284	162,342	505,415	471,317
3,305	162,296	505,673	471,317
3,337	162,772	505,415	471,057
3,369	163,271	505,673	471,317
3,401	162,657	505,415	470,798
3,433	162,610	505,673	470,798
3,476	163,063	505,673	470,798
3,508	163,561	505,157	470,539
3,551	162,970	505,673	470,539
3,583	163,445	505,415	470,539
3,593	163,376	505,415	470,020
3,636	163,353	505,415	470,020
3,668	163,237	505,415	469,761
3,710	163,734	505,415	469,761
3,742	164,798	505,415	469,761
3,774	164,162	505,673	469,761
3,796	164,092	505,415	469,243
3,828	164,588	505,415	469,243
3,860	164,542	505,673	469,243
3,902	165,038	505,673	468,983
3,934	164,356	505,415	468,983
3,966	164,875	505,673	468,724
3,998	165,394	505,673	468,465
4,020	164,758	505,415	468,465
4,041	164,712	505,673	468,465
4,084	165,748	505,415	468,465
4,116	166,243	505,415	468,206
4,148	165,585	505,415	468,206

4,169	166,103	505,415	468,206
4,222	166,009	505,673	467,687
4,254	165,939	505,673	467,687
4,286	166,433	505,415	468,206
4,318	166,926	505,415	467,687
4,340	167,442	505,673	467,428
4,361	166,809	505,673	467,428
4,425	166,738	505,415	467,169
4,436	167,231	505,673	467,169
4,468	167,161	505,673	467,169
4,532	167,090	505,415	466,909
4,553	167,020	505,673	466,909
4,574	166,950	505,415	466,909
4,606	166,856	505,673	466,391
4,628	166,833	505,673	466,391
4,681	166,692	505,673	466,391
4,713	167,230	505,415	466,391
4,734	167,745	505,673	466,391
4,756	167,090	505,673	466,391
4,798	167,580	505,673	466,132
4,830	168,071	505,673	465,872
4,873	167,977	505,673	465,872
4,905	167,930	505,673	465,872
4,926	168,443	505,415	465,613
4,969	168,372	505,673	465,613
4,979	167,742	505,673	465,613
5,022	168,231	505,673	465,613
5,065	168,161	505,673	465,613
5,086	168,090	505,673	465,354
5,129	167,996	505,673	465,354
5,150	167,926	505,673	465,095
5,182	167,879	505,673	464,835
5,214	168,926	505,673	465,354
5,235	168,297	505,415	464,835
5,278	168,785	505,673	464,835
5,289	169,272	505,673	464,835
5,342	169,202	505,673	464,835
5,385	168,573	505,673	464,576
5,395	169,060	505,673	464,576
5,427	169,013	505,673	464,576
5,470	168,896	505,415	464,576
5,491	168,825	505,673	464,058
5,534	169,359	505,673	464,058
5,555	169,821	505,673	464,058
5,609	168,614	505,673	464,058
5,630	168,567	505,415	464,058
5,673	169,609	505,673	463,798
5,705	168,935	505,673	463,798
5,726	170,047	505,673	463,798
5,758	169,953	505,673	463,798
5,801	169,882	505,673	463,798
5,822	169,788	505,415	463,280
5,843	169,717	505,673	463,539
5,865	169,646	505,415	463,280
5,918	170,130	505,415	463,280
5,950	170,036	505,415	463,280
5,993	169,458	505,415	463,021
6,014	169,942	505,415	463,021

6,046	170,425	505,415	463,021
6,067	169,777	505,157	463,021
6,110	169,706	505,415	463,021
6,142	169,659	505,673	462,761
6,163	170,649	505,673	462,502
6,184	169,518	505,673	462,502
6,238	168,847	505,415	462,502
6,270	169,930	505,673	462,502
6,280	169,860	505,415	462,502
6,323	169,789	505,673	462,502
6,355	170,824	505,673	462,243
6,366	170,200	505,673	461,984
6,419	170,106	505,415	461,984
6,451	170,036	505,673	461,984
6,483	170,493	505,673	461,984
6,515	170,446	505,673	461,984
6,547	170,376	505,673	461,984
6,579	170,281	505,673	461,984
6,600	169,683	505,673	461,724
6,632	170,187	505,673	461,724
6,686	170,093	505,415	461,465
6,707	169,472	505,673	461,724
6,728	169,402	505,673	461,206
6,760	169,858	505,673	461,724
6,782	169,788	505,673	461,206
6,824	170,314	505,673	461,206
6,856	170,723	505,673	461,206
6,899	170,103	505,673	461,206
6,920	170,079	505,415	461,206
6,963	171,084	505,673	461,206
6,995	170,511	505,673	460,947
7,027	169,868	505,673	460,947
7,059	169,249	505,673	460,947
7,080	170,276	505,415	460,947
7,112	170,206	505,673	460,947
7,144	169,039	505,415	460,947
7,176	169,540	505,673	460,947
7,208	169,995	505,415	460,428
7,240	169,878	505,673	460,428
7,272	169,807	505,673	460,947
7,304	169,737	505,673	460,428
7,347	169,714	505,673	460,428
7,358	169,644	505,673	460,428
7,421	169,026	505,673	460,428
7,432	168,933	505,673	460,169
7,453	168,863	505,673	460,169
7,496	168,270	505,673	460,169
7,528	168,724	505,673	460,169
7,560	169,200	505,673	460,169
7,603	168,607	505,415	460,169
7,624	167,992	505,673	460,169
7,645	167,876	505,673	460,169
7,677	168,920	505,673	460,169
7,709	168,305	505,673	459,910
7,741	167,691	505,673	459,910
7,773	167,621	505,673	459,910
7,805	167,529	505,673	459,650
7,848	168,572	505,673	459,650
7,880	167,934	505,415	459,650
7,901	168,977	505,673	459,650
7,933	168,884	505,673	459,650

7,965	168,247	505,673	459,650
7,997	168,201	505,415	459,650
8,029	168,131	505,673	459,391
8,061	168,605	505,415	459,391
8,093	167,426	505,415	459,391
8,125	167,403	505,673	459,391
8,147	168,373	505,673	459,391
8,200	167,218	505,673	459,391
8,232	166,630	505,415	459,391
8,243	167,623	505,415	459,391
8,285	167,553	505,415	459,391
8,328	166,965	505,673	459,132
8,349	167,392	505,673	459,132
8,381	167,346	505,673	459,391
8,435	167,795	505,673	459,132
8,435	167,162	505,673	459,132
8,477	166,597	505,673	458,873
8,509	167,024	505,673	458,873
8,552	167,001	505,415	458,873
8,584	166,932	505,673	458,873
8,616	166,817	505,673	458,873
8,648	166,794	505,673	458,873
8,690	166,725	505,673	458,873
8,701	166,656	505,673	458,873
8,733	166,565	505,673	458,613
8,765	167,036	505,673	458,613
8,808	166,427	505,673	458,613
8,840	166,358	505,415	458,613
8,861	166,290	505,673	458,613
8,914	166,783	505,673	458,613
8,925	166,153	505,673	458,873
8,978	166,061	505,673	458,613
8,989	166,554	505,673	458,613
9,021	165,947	505,673	458,613
9,053	165,879	505,673	458,613
9,085	166,303	505,673	458,613
9,117	166,280	505,415	458,613
9,160	166,188	505,415	458,613
9,192	165,045	505,673	458,613
9,234	164,954	505,673	458,095
9,256	164,349	505,673	458,095
9,288	165,400	505,673	458,095
9,330	164,795	505,415	458,095
9,352	165,241	505,673	458,095
9,373	165,687	505,673	458,095
9,416	165,105	505,673	458,095
9,448	165,037	505,673	458,095
9,480	165,482	505,157	458,095
9,522	165,414	505,673	458,095
9,554	164,810	505,673	458,095
9,565	164,742	505,673	458,095
9,629	165,210	505,415	458,095
9,661	164,584	505,673	458,095
9,672	163,469	505,673	457,836
9,714	163,401	505,673	457,836
9,725	164,426	505,673	457,836
9,768	164,335	505,673	458,095
9,800	163,199	505,673	458,095

9,832	163,666	505,673	458,095
9,864	163,064	505,673	458,095
9,895	163,576	505,673	458,095
9,917	163,974	505,673	457,836
9,959	164,463	505,673	458,095
10,013	163,839	505,673	458,095
10,045	163,239	505,673	458,095
10,077	162,638	505,673	457,836
10,087	162,571	505,673	457,836
10,119	163,037	505,673	457,836
10,151	162,392	505,673	457,836
10,194	162,925	505,673	457,836
10,226	162,857	505,673	458,095
10,247	162,768	505,673	458,095
10,290	162,701	505,673	458,095
10,322	163,166	505,673	458,095
10,343	163,076	505,673	458,095
10,375	162,522	505,931	458,095
10,429	162,986	505,673	458,095
10,450	162,919	505,673	458,095
10,482	162,830	505,673	458,095
10,514	162,785	505,673	458,095
10,546	162,718	505,673	458,095
10,589	161,568	505,673	457,836
10,610	161,501	505,673	457,836
10,653	161,435	505,673	458,095
10,674	161,876	505,673	458,095
10,717	161,279	505,415	457,836
10,759	161,720	505,931	458,095
10,781	161,698	505,673	457,836
10,813	161,631	505,673	458,095
10,845	162,116	505,673	457,836
10,887	162,027	505,673	458,095
10,898	161,432	505,673	458,095
10,951	161,872	505,673	458,095
10,983	162,356	505,673	458,095
11,005	160,726	505,673	457,836
11,047	161,166	505,673	457,836
11,079	161,605	505,673	458,095
11,101	161,561	505,673	458,095
11,154	161,517	505,673	457,836
11,175	161,956	505,673	457,836
11,218	161,911	505,673	457,836
11,260	160,241	505,673	458,095
11,271	161,229	505,931	458,613
11,324	160,658	505,673	457,836
11,335	160,591	505,673	458,095
11,367	161,030	505,673	457,836
11,420	160,986	505,673	457,836
11,431	160,393	505,673	458,095
11,463	160,305	505,673	457,836
11,495	159,735	505,673	457,836
11,538	159,669	505,673	457,836
11,570	160,655	505,673	457,836
11,602	160,589	505,673	458,095
11,634	159,472	505,673	458,095
11,666	159,428	505,673	458,095
11,687	160,413	505,673	458,095
11,730	159,800	505,415	458,095
11,772	160,259	505,673	457,836
11,794	159,690	505,673	458,095

11,826	160,149	505,673	458,095
11,858	158,510	505,415	457,836
11,911	158,466	505,673	458,095
11,922	158,925	505,673	458,095
11,964	158,816	505,415	458,095
11,996	159,318	505,673	458,095
12,039	159,755	505,673	458,095
12,071	159,689	505,673	458,095
12,082	159,623	505,673	458,095
12,114	158,533	505,673	458,095
12,156	158,991	505,673	458,613
12,199	158,402	505,673	457,836
12,220	158,337	505,673	458,095
12,252	158,272	505,673	458,095
12,295	158,229	505,673	458,095
12,327	158,142	505,673	458,613
12,359	159,121	505,673	458,613
12,391	158,534	505,673	458,613
12,423	159,512	505,673	458,613
12,465	159,468	505,673	458,613
12,487	158,360	505,415	458,613
12,519	159,338	505,673	458,613
12,540	159,294	505,673	458,613
12,583	158,664	505,673	458,613
12,615	158,099	505,673	458,095
12,647	158,534	505,673	458,613
12,679	158,512	505,673	458,873
12,689	158,425	505,415	458,873
12,753	158,902	505,673	458,613
12,775	158,837	505,673	458,873
12,817	158,750	505,673	458,873
12,849	158,165	505,673	458,873
12,881	158,100	505,415	458,873
12,913	158,035	505,415	459,132
12,945	156,953	505,673	458,613
12,999	157,407	505,673	458,873
12,999	157,364	505,673	458,873
13,031	158,316	505,673	458,873
13,073	158,251	505,673	459,132
13,105	157,689	505,673	459,132
13,137	158,100	505,673	459,391
13,180	158,078	505,673	459,132
13,191	157,970	505,673	459,391
13,223	156,891	505,673	458,613
13,255	157,344	505,673	458,873
13,297	157,236	505,673	459,132
13,319	157,215	505,673	459,391
13,351	157,150	505,415	459,391
13,393	157,603	505,673	459,391
13,425	157,539	505,673	459,391
13,457	157,452	505,415	459,391
13,500	157,388	505,673	459,650
13,532	157,345	505,673	459,132
13,575	157,280	505,673	459,391
13,585	157,237	505,673	459,391
13,617	157,173	505,673	459,391
13,638	157,087	505,673	459,650
13,681	157,001	505,415	459,650

13,713	156,958	505,673	459,910
13,756	157,409	505,673	459,650
13,777	157,860	505,673	459,650
13,798	157,259	505,673	459,650
13,841	156,701	505,673	459,650
13,884	156,658	505,157	459,391
13,905	156,572	505,415	459,650
13,926	156,508	505,673	459,650
13,969	156,466	505,673	459,910
13,990	157,945	505,673	459,910
14,033	156,830	505,415	460,169
14,065	156,787	505,415	459,910
14,086	157,708	505,415	460,169
14,118	157,644	505,673	459,910
14,161	156,081	505,415	459,650
14,182	156,039	505,415	459,650
14,214	156,467	505,673	459,650
14,257	156,381	505,415	459,910
14,278	156,339	505,673	460,169
14,310	156,253	505,673	460,169
14,342	156,702	505,673	460,169
14,374	156,638	505,673	460,169
14,406	156,061	505,415	459,650
14,428	156,040	505,415	459,650
14,460	155,955	505,673	460,169
14,502	156,873	505,673	459,910
14,534	155,806	505,673	460,169
14,556	156,787	505,673	460,169
14,588	156,723	505,673	460,169
14,620	156,638	505,415	460,169
14,641	156,084	505,673	460,169
14,673	155,509	505,415	459,650
14,726	155,445	505,673	459,910
14,737	155,403	505,673	460,169
14,780	155,829	505,673	460,169
14,812	156,276	505,673	460,169
14,843	156,212	505,415	460,169
14,865	155,127	505,673	459,910
14,897	154,533	505,673	460,169
14,929	155,510	505,415	460,428
14,961	155,426	505,673	460,169
14,993	154,874	505,673	460,169
15,014	155,808	505,673	460,428
15,057	155,766	505,673	460,169
15,089	154,663	505,415	460,169
15,121	154,599	505,415	460,428
15,153	155,575	505,673	460,428
15,174	155,512	505,673	460,428
15,206	154,918	505,673	460,169
15,238	153,838	505,673	460,169
15,259	154,262	505,673	460,169
15,313	154,750	505,673	460,169
15,334	154,136	505,673	460,428
15,377	154,115	505,673	460,169
15,387	155,026	505,673	460,428
15,430	153,947	505,415	460,169
15,451	153,419	505,673	460,169
15,483	153,842	505,673	460,428
15,526	153,801	505,673	460,428
15,558	154,709	505,673	460,428
15,590	154,140	505,673	460,428

15,622	153,591	505,673	460,169
15,643	154,520	505,673	460,428
15,675	153,445	505,673	460,428
15,697	153,403	505,673	460,428
15,739	153,846	505,673	460,428
15,771	154,268	505,673	460,428
15,793	153,215	505,673	460,428
15,846	153,173	505,673	460,428
15,857	153,089	505,673	460,428
15,910	153,027	505,673	460,169
15,931	152,459	505,415	460,428
15,963	152,902	505,673	460,428
16,017	153,828	505,673	460,428
16,027	152,735	505,673	460,428
16,059	152,694	505,673	460,428
16,091	153,640	505,673	460,428
16,123	153,598	505,931	460,428
16,166	153,536	505,673	460,428
16,198	153,473	505,673	460,428
16,219	153,410	505,673	460,428
16,251	152,340	505,673	460,428
16,272	152,782	505,673	460,169
16,304	152,699	505,673	460,428
16,347	153,139	505,673	460,428
16,390	152,574	505,673	460,428
16,411	152,512	505,673	460,428
16,443	152,429	505,673	460,428
16,475	152,869	505,673	460,428
16,518	152,828	505,673	460,428
16,539	152,744	505,673	460,428
16,560	152,724	505,673	460,428
16,603	153,122	505,673	460,428
16,635	152,558	505,673	460,428
16,656	152,496	505,673	460,428
16,688	152,433	505,673	460,428
16,731	152,873	505,673	460,428
16,752	152,309	505,673	460,428
16,806	152,247	505,673	460,428
16,838	152,707	505,673	460,428
16,848	152,603	505,673	460,428
16,870	152,040	505,673	460,428
16,912	151,978	505,415	460,428
16,955	152,437	505,673	460,428
16,976	152,355	505,673	460,428
17,019	152,293	505,673	460,428
17,051	152,231	505,673	460,428
17,083	152,689	505,673	460,428
17,115	152,086	505,931	460,428
17,126	152,544	505,673	460,428
17,168	152,982	505,673	460,947
17,222	152,420	505,673	460,428
17,243	151,859	505,673	460,428
17,264	152,296	505,673	460,428
17,296	152,712	505,673	460,428
17,339	153,149	505,673	460,428
17,360	151,633	505,673	460,428
17,392	152,049	505,673	460,947
17,424	152,444	505,673	460,947

17,445	151,925	505,673	460,428
17,488	152,361	505,673	460,947
17,520	152,776	505,673	460,947
17,552	152,714	505,673	460,947
17,584	152,652	505,673	460,947
17,627	152,590	505,673	460,428
17,648	152,549	505,673	460,947
17,691	152,943	505,415	460,947
17,712	152,384	505,415	460,947
17,755	152,343	505,415	460,947
17,776	152,281	505,673	460,947
17,819	152,240	505,673	460,947
17,851	152,137	505,673	460,947
17,872	152,075	505,673	460,947
17,904	152,034	505,673	460,947
17,947	151,973	505,415	460,947
17,979	151,911	505,673	460,947
18,021	151,829	505,673	460,947
18,032	152,283	505,673	460,947
18,085	151,706	505,673	460,947
18,096	152,160	505,673	460,947
18,149	152,077	505,673	460,947
18,181	152,057	505,673	460,947
18,192	151,480	505,673	460,947
18,235	151,398	505,673	460,947
18,256	151,852	505,673	460,947
18,309	151,770	505,415	460,947
18,341	151,708	505,673	461,206
18,363	151,647	505,673	460,947
18,405	152,079	505,673	460,947
18,437	151,010	505,673	460,947
18,459	150,989	505,673	460,947
18,491	150,908	505,673	460,947
18,533	150,867	505,673	460,947
18,554	151,278	505,673	460,947
18,576	150,724	505,673	460,947
18,618	151,649	505,673	460,947
18,650	151,587	505,673	460,947
18,682	151,506	505,673	460,947
18,714	151,444	505,673	460,947
18,757	151,896	505,673	460,947
18,800	151,363	505,673	461,206
18,821	151,281	505,673	461,206
18,853	151,240	505,673	461,206
18,874	151,671	505,673	461,206
18,906	151,609	505,673	460,947
18,938	151,057	505,673	460,947
18,970	151,487	505,673	460,947
19,002	151,385	505,673	461,206
19,034	151,344	505,673	460,947
19,077	151,303	505,673	460,947
19,109	151,262	505,673	461,206
19,141	151,671	505,673	460,947
19,173	151,610	505,673	460,947
19,216	151,549	505,673	461,206
19,248	151,488	505,673	461,206
19,269	151,427	505,673	460,947
19,312	151,366	505,673	461,206
19,322	151,304	505,673	460,947
19,376	151,774	505,673	461,206
19,408	151,672	505,673	461,206

19,440	151,121	505,673	460,947
19,472	151,060	505,673	461,206
19,504	151,488	505,673	461,206
19,536	150,938	505,673	461,206
19,568	150,878	505,415	461,206
19,589	151,794	505,673	460,947
19,642	151,264	505,673	460,947
19,674	150,695	505,415	460,947
19,706	150,675	505,673	461,206
19,728	151,082	505,673	461,206
19,770	151,488	505,673	460,947
19,802	150,960	505,673	461,206
19,834	150,919	505,673	461,206
19,855	150,818	505,673	461,206
19,909	150,270	505,673	461,206
19,930	150,676	505,673	460,947
19,962	150,149	505,673	461,206
19,994	151,102	505,673	461,206
20,026	151,021	505,673	461,206
20,058	150,474	505,673	461,206
20,101	150,900	505,673	461,206
20,133	150,839	505,673	461,206
20,143	150,758	505,673	461,206
20,186	150,738	505,673	461,206
20,239	151,183	505,673	461,206
20,250	151,102	505,673	461,206
20,282	150,576	505,673	461,465
20,325	150,535	505,673	461,206
20,357	150,960	505,415	461,206
20,389	150,394	505,673	461,206
20,421	150,354	505,673	461,206
20,442	150,293	505,673	461,206
20,495	150,233	505,415	461,206
20,527	150,213	505,673	461,206
20,549	150,092	505,673	461,206
20,581	150,536	505,673	461,206
20,602	149,971	505,673	461,206
20,655	150,375	505,931	461,206
20,687	149,386	505,673	461,206
20,709	150,314	505,673	461,206
20,741	150,234	505,673	461,206
20,773	150,153	505,673	461,206
20,815	150,113	505,673	461,206
20,837	150,516	505,415	461,206
20,879	150,455	505,673	461,206
20,901	149,912	505,673	461,206
20,943	150,334	505,931	461,465
20,954	150,757	505,673	461,206
20,997	150,214	505,673	461,206
21,039	149,691	505,415	461,206
21,060	150,133	505,673	461,206
21,103	150,053	505,673	461,465
21,135	149,490	505,673	461,206
21,167	149,470	505,673	461,206
21,199	149,912	505,673	461,206
21,242	149,832	505,673	461,206
21,252	149,752	505,673	461,206
21,295	149,672	505,673	461,206

21,316	150,093	505,673	461,206
21,359	150,073	505,673	461,465
21,391	149,532	505,415	461,206
21,423	150,413	505,673	461,206
21,455	149,912	505,673	461,206
21,498	149,392	505,673	461,206
21,530	149,732	505,673	461,465
21,551	149,692	505,673	461,206
21,572	150,152	505,673	461,206
21,615	149,592	505,673	461,206
21,636	149,052	505,673	461,206
21,668	149,932	505,673	461,206
21,700	149,852	505,673	461,206
21,732	149,812	505,673	461,465
21,764	149,772	505,673	461,206
21,818	149,732	505,673	461,206
21,839	150,151	505,673	461,206
21,860	149,592	505,673	461,206
21,882	149,492	505,673	461,465
21,924	149,472	505,673	461,206
21,956	149,392	505,673	461,206
21,988	149,293	505,673	461,206
22,020	148,814	505,673	461,206
22,052	149,253	505,673	461,206
22,084	149,193	505,673	461,206
22,116	149,113	505,931	461,724
22,127	148,556	505,673	461,206
22,180	149,452	505,673	461,465
22,212	148,437	505,673	461,465
22,244	148,397	505,673	461,465
22,276	148,815	505,673	461,206
22,308	148,755	505,673	461,465
22,340	148,716	505,673	461,465
22,372	148,636	505,673	461,465
22,393	149,073	505,931	461,465
22,436	148,498	505,673	461,206
22,447	148,478	505,673	461,465
22,489	148,875	505,931	461,724
22,532	148,339	505,673	461,465
22,553	148,280	505,673	461,465
22,575	148,220	505,931	461,465
22,628	148,637	505,673	461,465
22,660	148,082	505,415	461,465
22,703	148,062	505,673	461,465
22,724	147,983	505,673	461,465
22,735	148,419	505,673	461,465
22,777	148,360	505,673	461,465
22,809	147,825	505,673	461,724
22,841	147,727	505,931	461,724
22,873	147,687	505,673	461,724
22,916	147,628	505,673	461,724
22,927	147,569	505,931	461,465
22,948	147,490	505,673	461,724
22,991	147,490	505,673	461,465
23,012	146,918	505,673	461,724
23,033	146,859	505,673	461,724
23,065	147,294	505,673	461,724
23,108	147,235	505,673	461,465
23,129	147,176	505,673	461,465
23,161	147,097	505,673	461,724
23,193	147,078	505,673	461,724

23,204	146,565	505,673	461,465
23,268	146,940	505,673	461,724
23,289	146,882	505,673	461,724
23,332	146,823	505,931	461,724
23,375	146,764	505,673	461,465
23,385	146,213	505,415	461,465
23,407	146,647	505,931	461,724
23,449	146,588	505,673	461,465
23,492	146,038	505,415	461,465
23,513	145,979	505,673	461,465
23,556	145,921	505,673	461,724
23,588	146,354	505,673	461,724
23,620	145,804	505,673	461,724
23,652	145,313	505,673	461,724
23,684	146,178	505,673	461,465
23,716	145,649	505,931	461,724
23,737	146,022	505,673	461,465
23,758	145,983	505,931	461,724
23,801	146,396	505,673	461,465
23,844	145,396	505,673	461,984
23,854	145,338	505,673	461,984
23,876	145,769	505,931	461,724
23,918	145,692	505,673	461,724
23,961	145,633	505,931	461,465
24,004	145,595	505,931	461,984
24,036	144,597	505,931	461,465
24,046	145,009	505,931	461,724
24,078	144,931	505,931	461,984
24,121	144,404	505,931	461,984
24,132	145,304	505,673	461,984
24,153	144,757	505,931	461,724
24,228	144,699	505,931	461,724
24,249	144,622	505,673	461,984
24,260	145,052	505,673	461,984
24,302	144,975	505,931	461,984
24,334	144,936	505,931	461,984
24,377	144,878	505,931	461,984
24,420	144,820	506,190	461,984
24,441	144,763	505,931	461,984
24,462	144,705	505,931	461,984
24,484	144,647	505,931	461,984
24,516	144,570	505,931	461,984
24,558	144,512	505,931	461,984
24,612	144,454	505,931	461,984
24,622	144,396	506,190	462,243
24,665	143,852	506,190	462,243
24,718	144,262	506,190	461,984
24,718	144,204	506,190	462,243
24,739	144,613	506,190	461,984
24,771	144,070	506,190	461,984
24,814	144,051	505,931	461,984
24,857	144,440	506,190	461,984
24,889	143,935	506,190	461,984
24,921	143,859	506,448	462,243
24,942	143,820	506,448	462,502

24,974	144,210	506,448	462,243
25,006	143,686	506,190	462,243
25,027	143,648	506,448	462,243
25,070	143,591	506,448	462,502
25,091	143,960	506,448	462,502
25,145	143,903	506,448	462,502
25,155	143,361	506,448	462,502
25,198	143,788	506,448	462,502
25,230	143,247	506,448	462,502
25,262	143,654	506,448	462,502
25,294	144,080	506,448	462,761
25,326	144,042	506,448	462,761
25,369	143,985	506,448	462,502
25,379	143,444	506,706	463,021
25,422	143,368	506,706	463,021
25,443	143,310	506,706	463,021
25,475	143,736	506,964	463,021
25,507	143,660	506,964	463,021
25,561	143,139	506,706	463,021
25,582	143,526	506,706	463,280
25,614	143,507	506,964	463,280
25,646	143,412	507,223	463,280
25,689	143,373	507,223	463,539
25,689	143,760	507,223	463,798
25,742	143,703	507,481	463,798
25,774	143,645	507,223	463,798
25,795	143,607	507,481	463,798
25,827	143,531	507,481	463,798
25,859	143,474	507,481	464,058
25,902	143,417	507,481	464,058
25,913	143,322	507,997	464,058
25,934	143,303	507,997	464,576
25,987	143,226	507,997	464,576
26,019	142,708	507,997	464,576
26,051	143,131	507,997	464,576
26,083	143,055	508,514	464,576
26,126	142,980	508,256	464,576
26,147	142,980	508,256	464,576
26,179	142,904	508,514	464,835
26,222	142,828	508,256	464,835
26,254	141,850	508,256	464,835
26,286	142,752	508,256	464,835
26,307	143,155	508,256	464,835
26,350	142,619	508,256	464,835
26,360	142,563	508,514	464,835
26,403	142,487	508,514	464,835
26,435	142,449	508,514	465,095
26,488	142,393	508,514	465,095
26,510	142,355	508,772	465,354
26,542	142,757	508,772	465,095
26,574	142,682	508,772	465,354
26,606	142,166	508,772	465,354
26,627	142,128	508,772	465,354
26,670	142,015	508,772	465,354
26,702	141,977	509,030	465,613
26,723	142,379	508,772	465,354
26,755	142,781	509,030	465,613
26,787	142,724	508,772	465,613

26,830	142,172	508,772	465,354
26,862	142,153	508,514	465,613
26,883	142,573	508,772	465,354
26,926	142,517	508,772	465,613
26,958	142,441	509,030	465,613
27,000	142,861	509,030	465,613
27,022	142,347	509,030	465,613
27,064	142,729	509,030	465,613
27,086	142,253	509,030	466,132
27,118	142,196	509,030	466,132
27,150	142,597	509,030	466,132
27,181	142,521	509,547	466,132
27,213	141,552	507,739	464,835
27,245	141,952	508,256	464,835
27,288	141,420	505,673	463,021
27,320	141,820	506,190	463,280
27,352	141,783	506,448	463,539
27,384	142,201	506,706	463,798
27,427	142,145	507,223	464,058
27,459	141,614	507,223	464,576
27,491	142,032	507,481	464,835
27,523	141,520	505,931	463,280
27,565	141,901	506,448	463,280
27,576	141,427	506,448	463,798
27,619	141,352	506,448	463,798
27,640	141,314	506,706	464,058
27,683	141,240	507,223	464,576
27,704	141,165	506,964	464,058
27,747	141,146	506,448	463,539
27,779	141,980	506,448	463,798
27,800	141,470	506,706	463,798
27,832	141,395	506,190	463,539
27,885	141,358	506,190	463,539
27,917	141,756	506,448	464,058
27,960	141,737	506,964	464,058
27,981	141,681	507,223	464,576
28,024	142,059	507,481	464,835
28,056	141,568	507,481	465,095
28,077	141,494	507,997	465,354
28,099	141,891	508,256	465,613
28,131	141,816	508,772	466,132
28,173	141,307	508,772	466,391
28,216	141,288	509,030	466,391
28,248	141,685	509,030	466,391
28,269	141,176	509,547	466,909
28,312	141,554	509,805	467,169
28,344	141,498	510,064	467,428
28,387	142,347	510,064	467,428
28,397	142,291	510,322	467,687
28,450	142,253	510,838	468,206
28,472	141,764	510,838	468,206
28,514	142,160	510,838	468,206
28,546	142,066	511,097	468,465
28,578	142,029	511,097	468,465
28,600	142,424	511,355	468,724

28,642	142,330	511,613	468,983
28,674	141,842	511,613	469,243
28,706	141,353	511,613	469,243
28,760	142,218	511,613	469,243
28,770	142,162	511,613	469,243
28,813	142,087	511,613	469,243
28,845	142,050	511,613	469,243
28,866	141,975	511,613	469,243
28,909	141,919	511,613	469,243
28,952	141,863	511,355	468,983
28,952	141,807	511,097	468,983
28,994	142,651	511,355	468,983
29,037	142,576	511,097	468,724
29,069	142,108	511,097	468,724
29,080	142,015	511,097	468,465
29,112	142,408	511,097	468,724
29,154	142,389	511,097	468,465
29,186	141,865	511,097	468,465
29,229	142,277	510,838	468,724
29,250	142,203	510,838	468,465
29,282	141,679	510,838	468,465
29,304	141,605	510,580	468,465
29,336	142,016	510,580	468,465
29,378	141,979	510,580	468,465
29,410	141,904	510,322	468,206
29,432	141,867	510,322	468,206
29,496	141,793	510,322	468,206
29,517	141,756	510,580	468,465
29,549	141,681	510,322	468,206
29,581	141,644	504,898	463,021
29,613	141,588	505,157	463,280
29,666	141,551	505,415	463,798
29,677	141,011	505,931	463,798
29,698	140,974	505,931	464,058
29,730	141,366	506,448	464,576
29,773	141,273	506,706	464,576
29,794	141,254	506,964	464,835
29,826	141,199	507,223	464,835
29,869	142,036	507,481	465,354
29,879	141,069	507,739	465,613
29,911	141,032	507,997	466,132
29,943	141,851	508,256	466,391
29,986	142,241	508,514	466,391
30,018	141,758	509,030	466,391
30,050	142,148	509,030	467,169
30,093	142,092	509,289	467,169
30,125	142,018	509,547	467,428
30,146	141,981	509,805	467,687
30,167	141,925	509,805	467,687
30,199	141,406	510,064	467,687
30,242	141,795	510,322	468,206
30,263	140,887	510,322	468,206
30,295	141,703	510,580	468,465
30,338	141,628	510,838	468,465
30,349	141,999	510,838	468,983
30,391	141,536	511,097	469,243
30,413	141,925	511,097	469,243
30,455	141,869	511,355	469,243

30,498	141,332	511,613	469,502
30,509	141,758	511,613	469,761
30,551	142,128	511,613	469,761
30,583	142,072	511,871	469,761
30,626	142,017	511,871	469,761
30,647	142,405	511,871	470,020
30,679	141,943	511,871	470,020
30,690	141,425	512,388	470,539
30,722	140,927	512,130	470,539
30,765	142,200	512,388	470,539
30,786	142,145	512,388	470,539
30,829	141,204	512,388	470,539
30,861	141,573	512,388	470,539
30,903	141,960	512,646	470,798
30,935	141,480	512,646	470,798
30,946	141,388	512,646	470,798
30,978	142,217	512,646	470,539
31,010	142,161	512,646	470,798
31,052	141,664	512,646	470,798
31,084	141,646	512,646	470,798
31,116	142,032	512,646	470,798
31,148	141,939	512,646	470,798
31,170	141,884	512,646	470,798
31,191	141,406	512,646	470,798
31,223	141,332	512,646	470,798
31,276	141,736	512,388	470,798
31,298	141,222	512,646	470,798
31,330	141,626	512,388	470,798
31,383	141,570	512,646	470,798
31,404	141,533	512,646	470,798
31,426	141,460	512,646	470,798
31,447	141,863	512,646	470,798
31,479	141,790	512,646	470,798
31,522	142,174	512,646	470,798
31,543	141,679	512,646	470,798
31,586	142,045	512,646	470,798
31,618	142,027	512,646	470,798
31,650	141,513	512,646	470,798
31,682	141,421	512,646	470,798
31,714	141,385	512,646	470,798
31,756	141,348	512,646	471,057
31,767	141,713	512,646	471,057
31,820	141,658	512,904	471,057
31,852	141,621	512,646	471,317

7.4. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 275kPa

CÓDIGO CORPO DE PROVA	CP20-275kPa	
Data moldagem:	01.08.2018	
Data saturação:	02.08.2018	
Data adensamento:	02.08.2018	
Data cisalhamento:	03.08.2018	
Tensão efetiva de ensaio (kPa):	400	
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)	5	
Altura especificada Corpo de prova (cm)	10	
Teor de Umidade (meta) (%)	20,0%	
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm³)	0,800	
G_{solo}	3,27	
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM		
Umidade média (%)	19,31%	
Massa CP úmido (g)	188,3	
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)	5,026	
Altura média Corpo de prova (cm)	9,914	
Área Corpo de prova (cm²)	19,840	
Volume Corpo de prova (cm³)	196,691	
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm³)	0,957	
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm³)	0,802	
Peso Solo obtido (g)	157,824	
Vol Solo obtido (cm³)	48,264	
Volume vazios obtido (cm³)	148,426	
Grau de compactação (%)	100,30%	
Variação teor umidade (%)	-0,69%	
Variação diâmetro (mm)	0,026	
Variação altura (mm)	-0,086	
e após moldagem	3,075	
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO		
Leitura inicial volumétrico	V	5,443
Leitura final volumétrico	V	2,47
Volume final após adensamento	cm ³	163,078
Diâmetro final após adensamento	cm	4,740
Altura final após adensamento	cm	9,349

e pos consolidação	2,761
--------------------	-------

Ensaio a 275kPa			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,000	0,142	804,222	532,759
0,031	10,808	804,222	538,722
0,062	30,465	804,222	548,314
0,093	51,223	804,222	557,647
0,113	37,129	804,222	552,462
0,103	65,259	804,222	563,610
0,113	78,165	803,963	569,313
0,155	98,281	803,963	577,609
0,175	117,311	803,963	585,387
0,144	134,829	803,963	593,164
0,175	153,245	803,963	600,164
0,206	168,833	803,963	606,645
0,206	182,861	803,447	612,608
0,227	196,790	803,963	618,052
0,268	208,921	803,963	623,756
0,289	220,021	803,963	628,681
0,340	230,383	803,963	633,089
0,382	240,223	803,963	637,755
0,382	248,611	804,222	641,385
0,423	255,635	804,222	645,273
0,444	262,774	804,222	648,384
0,505	269,649	804,222	651,755
0,526	276,213	804,738	654,866
0,557	281,032	804,480	657,458
0,588	285,846	804,738	659,791
0,629	290,029	804,996	662,125
0,660	294,274	804,996	664,458
0,691	298,514	804,996	666,532
0,732	302,678	804,996	668,347
0,763	305,797	805,513	669,902
0,794	307,802	805,513	671,717
0,835	310,842	805,771	673,272
0,866	313,395	805,771	674,569
0,897	315,946	806,288	676,124
0,928	317,386	806,546	677,161
0,980	319,783	804,738	677,161
1,021	322,249	804,222	677,939
1,062	323,056	804,480	678,976
1,104	324,964	804,996	680,013
1,176	326,644	804,738	681,309
1,227	328,469	803,963	681,309
1,300	329,590	804,222	682,087
1,351	330,858	804,480	683,124
1,382	332,825	804,996	683,902
1,382	333,374	804,996	684,679

1,372	333,999	805,255	685,457
1,382	334,471	805,255	686,494
1,413	335,886	805,513	686,753
1,434	336,828	805,513	687,531
1,475	335,426	804,222	686,753
1,475	336,521	804,480	687,531
1,506	336,838	804,738	688,050
1,547	337,624	804,996	688,827
1,588	337,316	804,996	689,087
1,588	338,409	805,255	689,864
1,630	338,646	805,513	690,383
1,681	338,806	805,771	691,161
1,712	339,120	805,771	691,679
1,753	340,445	806,546	692,457
1,774	340,835	806,804	692,716
1,805	340,602	806,804	693,235
1,795	340,680	806,804	694,012
1,795	340,680	807,063	694,272
1,722	340,132	807,579	694,790
1,722	339,587	807,837	695,568
1,722	340,132	808,354	695,827
1,691	340,910	808,354	696,346
1,691	340,365	808,612	696,864
1,722	339,587	808,612	697,123
1,743	339,978	809,129	697,642
1,784	340,213	809,387	698,160
1,826	339,904	809,387	698,420
1,857	340,215	809,645	698,679
1,826	340,447	810,162	699,457
1,795	339,591	810,162	699,457
1,826	339,360	810,678	699,975
1,826	339,360	810,936	700,494
1,836	339,826	810,936	700,753
1,867	340,138	811,195	701,012
1,908	339,829	811,453	701,531
1,929	340,218	811,453	702,049
1,970	339,909	811,969	702,308
2,001	340,220	812,228	702,827
2,032	339,988	812,486	703,086
2,063	340,298	812,744	703,605
2,104	339,990	812,744	703,864
2,125	339,836	813,519	704,382
2,156	339,605	813,519	704,382
2,176	339,451	813,519	704,642
2,207	339,760	813,519	705,160
2,238	340,069	814,036	705,419
2,269	340,377	814,552	705,938
2,310	340,608	814,810	705,938
2,331	339,916	814,810	706,197
2,372	339,608	815,069	706,716
2,403	339,916	815,327	707,234
2,434	340,223	815,327	707,493
2,475	339,916	815,843	707,753
2,506	339,685	816,102	708,012
2,537	339,455	816,102	708,012
2,558	339,838	816,618	708,790
2,589	339,072	816,876	708,790
2,620	339,379	817,135	709,049
2,651	339,149	817,393	709,308
2,682	339,455	817,651	709,827
2,723	339,149	817,909	709,827

2,754	338,919	817,909	710,345
2,774	339,301	818,168	710,604
2,805	340,139	818,684	710,604
2,857	339,223	818,684	711,123
2,888	339,527	818,942	711,382
2,929	339,222	818,942	711,382
2,950	339,069	819,459	711,382
2,991	338,764	819,459	711,641
2,991	338,232	804,222	697,383
3,032	337,396	804,996	697,901
3,063	337,700	805,255	698,420
3,094	337,472	805,513	698,420
3,135	337,169	805,771	699,197
3,166	336,412	806,288	699,197
3,197	336,185	806,804	699,457
3,218	336,034	806,804	699,716
3,239	336,942	807,063	699,975
3,290	336,564	807,579	700,234
3,311	336,413	807,579	700,753
3,331	336,262	807,837	700,753
3,373	336,488	808,354	701,012
3,383	336,941	808,354	701,531
3,445	335,961	808,354	701,531
3,476	336,789	809,387	702,049
3,507	336,563	809,387	702,049
3,538	335,284	804,222	697,383
3,548	335,209	804,996	697,642
3,579	335,509	804,996	697,901
3,641	334,534	804,996	698,160
3,661	334,384	805,513	698,420
3,692	334,684	805,771	698,679
3,713	333,485	806,288	699,197
3,744	333,261	806,546	699,457
3,775	334,610	806,804	699,457
3,806	334,386	806,804	699,716
3,847	334,087	807,063	699,975
3,868	333,937	807,579	700,234
3,919	333,565	807,837	700,494
3,940	333,416	808,354	700,753
3,961	333,267	804,996	697,901
3,992	333,043	805,513	697,901
4,012	332,895	805,513	698,160
4,053	332,598	805,771	698,420
4,084	332,375	805,771	698,679
4,105	331,185	806,546	698,679
4,136	330,963	806,804	699,197
4,167	331,782	806,804	699,457
4,198	331,560	807,063	699,457
4,229	331,339	807,321	699,716
4,291	331,934	807,579	699,975
4,311	331,267	804,480	697,123
4,342	330,527	804,996	697,383
4,373	330,306	804,996	697,123
4,383	331,269	805,513	697,642
4,425	330,457	804,996	697,123
4,456	330,236	804,222	696,864
4,487	329,498	804,480	696,864
4,507	329,352	804,996	696,864

4,538	329,649	805,255	697,123
4,579	329,356	805,255	697,383
4,600	329,209	805,513	697,642
4,631	328,990	805,771	697,642
4,662	328,770	806,288	697,901
4,693	328,551	806,804	698,420
4,734	328,774	806,804	698,420
4,775	328,996	807,063	698,679
4,786	328,409	807,321	699,197
4,817	328,190	807,579	699,457
4,848	328,486	807,837	699,457
4,879	328,267	808,096	699,457
4,920	327,463	808,354	699,716
4,940	327,830	808,612	699,975
4,971	328,125	808,612	699,975
4,992	327,467	809,129	700,234
5,033	326,665	809,387	700,494
5,074	326,375	809,645	700,753
5,095	326,231	809,645	701,012
5,126	326,014	810,162	701,012
5,147	326,380	810,420	701,531
5,188	326,091	810,678	701,790
5,229	325,802	807,579	698,420
5,260	325,076	804,996	695,827
5,281	324,423	804,996	696,086
5,312	324,717	805,513	696,346
5,332	325,082	805,771	696,864
5,363	324,866	805,771	696,864
5,415	324,507	806,546	697,123
5,435	324,364	806,804	697,383
5,466	323,641	806,804	697,642
5,508	323,355	807,063	697,642
5,539	323,141	804,480	695,049
5,570	322,926	804,996	695,568
5,590	322,784	805,513	695,568
5,621	322,570	805,513	695,827
5,652	321,344	805,513	696,086
5,683	322,143	804,996	695,568
5,704	322,000	804,480	694,790
5,735	321,787	804,996	695,049
5,776	321,503	804,996	695,049
5,807	321,291	805,255	695,568
5,838	321,078	805,771	695,827
5,879	320,795	805,771	696,086
5,900	321,157	804,222	694,531
5,931	320,945	804,480	694,790
5,961	320,229	804,996	694,790
6,013	319,877	805,255	695,049
6,023	319,806	805,255	695,049
6,054	319,595	804,222	694,012
6,085	319,384	804,480	694,272
6,127	319,103	804,996	694,531
6,157	318,892	804,996	694,790
6,188	317,679	804,996	694,790
6,219	318,471	805,513	695,049
6,261	318,191	805,771	695,049
6,292	317,981	805,771	695,568
6,312	317,841	806,546	695,827
6,343	317,631	804,480	694,012
6,384	317,851	804,996	694,012
6,415	317,143	805,255	694,272

6,457	316,365	805,513	694,790
6,488	316,655	805,771	694,790
6,498	316,586	806,288	695,049
6,549	316,238	806,546	695,049
6,570	316,099	806,804	695,568
6,601	315,394	807,063	695,568
6,632	315,186	807,063	695,827
6,663	314,979	807,579	696,346
6,694	314,275	807,837	696,864
6,735	313,999	804,738	693,494
6,756	313,861	804,996	693,494
6,776	313,723	805,513	694,012
6,818	312,953	805,513	694,272
6,859	313,173	805,771	694,790
6,879	313,036	806,288	694,531
6,910	312,830	806,804	694,790
6,952	312,556	806,804	695,049
6,993	312,282	807,063	695,049
7,034	312,008	807,579	695,568
7,075	310,749	807,579	695,827
7,117	310,970	808,096	695,827
7,148	311,258	808,354	696,086
7,189	310,493	808,612	696,346
7,220	309,798	808,612	696,864
7,282	308,900	809,387	696,864
7,292	308,832	809,387	697,123
7,323	309,611	809,903	697,642
7,364	308,850	809,903	697,901
7,405	309,070	810,162	697,901
7,457	309,222	810,678	697,901
7,467	307,686	810,936	698,420
7,498	307,484	811,195	698,420
7,529	307,771	811,453	698,679
7,570	307,014	811,969	699,197
7,612	306,746	811,969	699,197
7,643	306,545	812,228	699,457
7,663	305,923	812,486	699,457
7,725	305,035	803,189	690,642
7,756	304,348	803,447	690,901
7,787	304,149	804,222	691,161
7,839	303,817	804,222	691,679
7,880	303,552	804,738	691,679
7,911	302,867	804,996	691,938
7,942	302,669	805,255	691,938
7,942	302,184	805,513	692,457
7,973	301,986	805,771	692,716
8,024	301,172	804,480	691,679
8,055	301,459	804,996	691,679
8,107	301,131	804,996	691,938
8,138	299,966	805,513	692,457
8,169	299,770	805,771	692,457
8,200	299,091	805,771	692,716
8,251	298,765	806,546	693,235
8,282	297,605	804,996	691,420
8,313	298,374	805,255	691,938
8,354	297,633	805,513	692,198
8,385	296,957	805,771	692,457
8,427	296,217	806,288	692,457

8,447	296,569	806,546	692,457
8,488	296,310	806,804	692,716
8,530	294,611	806,804	693,235
8,571	295,314	807,063	693,494
8,602	294,162	807,321	693,494
8,653	293,842	806,804	693,235
8,684	293,171	804,222	690,642
8,726	292,437	804,480	690,901
8,767	292,661	804,996	691,161
8,798	291,514	804,996	691,420
8,839	291,260	805,513	691,938
8,880	290,529	805,513	691,938
8,942	290,150	805,771	692,457
9,004	289,771	806,288	692,457
9,087	289,268	806,804	692,716
9,200	289,526	806,804	693,235
9,788	290,196	807,063	693,235
9,530	288,466	807,321	693,753
9,468	287,424	807,837	694,012
9,695	288,409	808,096	694,531
9,520	287,585	808,354	694,790
9,561	286,392	808,612	695,049
9,819	286,253	809,129	695,049
9,695	285,586	809,387	695,568
10,005	285,609	809,387	695,827
10,108	284,992	809,387	695,827
10,077	284,243	804,996	691,938
10,190	284,034	804,738	691,420
9,747	281,517	804,996	691,938
9,613	280,429	804,996	691,938
9,654	279,714	805,513	692,457
9,664	279,654	804,480	691,420
9,705	278,940	804,480	691,938
9,726	278,349	804,996	691,938
9,767	279,046	804,996	692,457
9,798	277,456	805,513	692,457
9,829	277,275	805,771	693,235
9,870	277,034	806,288	693,494
9,901	276,853	806,804	694,012
9,932	276,204	806,804	694,272
9,974	276,432	807,063	694,531
10,005	275,784	807,063	694,790
10,036	274,202	807,579	695,049
10,066	273,556	804,222	692,457
10,108	273,318	804,738	692,457
10,149	273,081	804,996	692,716
10,170	272,496	804,996	693,235
10,211	271,793	805,513	693,494
10,211	271,327	805,771	694,012
10,262	271,497	805,771	694,272
10,293	270,855	806,288	694,531
10,324	270,213	806,804	695,049
10,366	269,978	806,804	695,568
10,386	270,326	807,063	695,568
10,427	269,162	807,063	695,827
10,458	268,523	807,579	696,346
10,489	267,884	803,705	692,716
10,520	268,173	804,222	693,235
10,283	266,724	804,222	693,494
10,262	265,909	804,480	693,753
10,293	265,270	804,996	694,012

10,314	264,224	804,996	694,272
10,345	263,586	804,996	694,790
10,273	263,523	805,513	695,049
10,304	263,351	805,771	695,568
10,324	263,236	805,771	695,827
10,355	262,133	806,546	695,827
10,386	261,962	806,804	696,864
10,417	261,790	806,804	696,864
10,448	261,155	803,963	694,012
10,510	260,813	804,222	694,531
10,592	261,284	804,480	694,790
10,592	260,358	804,996	695,568
10,613	260,244	804,996	695,568
10,644	259,149	805,513	695,827
10,675	258,517	805,513	696,346
10,696	258,866	805,771	696,864
10,737	259,102	806,288	697,123
10,758	258,528	806,546	697,642
10,799	258,302	806,546	697,642
10,830	257,672	806,804	698,420
10,861	257,504	807,063	698,679
10,892	257,335	807,321	699,197
10,933	257,571	807,579	699,197
10,974	256,887	808,096	699,457
10,995	256,315	808,096	699,457
11,036	256,092	808,354	700,234
11,046	256,036	808,354	700,494
11,088	255,354	809,129	701,012
11,108	254,325	809,129	701,012
11,149	254,562	809,387	701,531
11,180	253,938	809,387	702,049
11,232	253,203	809,645	702,049
11,242	253,606	810,162	702,827
11,294	253,330	810,678	703,086
11,314	253,219	810,678	703,086
11,356	252,999	810,936	703,605
11,397	252,779	811,195	703,864
11,418	252,212	811,453	704,382
11,469	251,938	811,453	704,642
11,479	251,427	811,969	705,160
11,521	251,208	812,228	705,419
11,541	252,010	812,744	705,419
11,572	250,935	812,744	705,938
11,603	250,316	812,744	706,456
11,655	250,044	813,519	706,975
11,655	250,044	813,519	707,234
11,686	249,427	813,519	707,753
11,727	248,756	814,294	708,012
11,758	249,047	814,552	708,271
11,789	247,978	814,552	708,790
11,830	247,762	815,069	708,790
11,851	247,654	815,069	709,308
11,871	248,452	815,327	709,827
11,923	247,277	815,843	709,827
11,954	247,116	816,102	710,345
11,975	247,009	816,102	710,604
11,995	246,901	816,618	711,123
12,036	246,235	816,876	711,382

12,067	245,623	817,135	711,641
12,098	246,365	817,393	712,419
12,140	246,151	817,909	712,678
12,150	244,746	817,909	712,678
12,191	244,533	818,168	713,456
12,232	244,770	818,684	713,975
12,243	244,267	818,684	713,975
12,294	244,451	818,942	713,975
12,305	243,949	819,201	714,752
12,346	243,737	819,459	715,012
12,377	243,578	819,717	715,271
12,408	242,971	819,976	715,530
12,439	243,261	820,234	715,789
12,480	243,050	820,492	716,308
12,501	242,944	820,492	716,567
12,511	242,444	821,009	716,826
12,562	242,628	821,009	717,345
12,593	242,023	821,267	717,604
12,614	241,471	821,525	717,863
12,645	241,761	822,300	718,382
12,676	241,603	822,300	718,641
12,707	240,107	806,804	703,864
12,727	238,665	805,255	702,308
12,769	238,458	805,771	703,086
12,810	238,251	806,288	703,345
12,841	238,540	806,546	703,605
12,851	238,489	806,804	703,864
12,893	238,282	806,804	704,382
12,923	238,126	807,321	704,642
12,954	237,971	807,579	705,160
12,975	237,424	807,837	705,419
12,996	237,321	808,096	705,938
13,037	238,002	808,612	706,197
13,058	237,012	808,612	706,716
13,099	236,806	809,387	707,234
13,130	236,652	809,387	707,234
13,161	236,498	809,387	707,493
13,202	235,851	809,903	708,012
13,212	235,800	809,903	708,012
13,264	235,986	810,162	708,790
13,295	235,833	810,420	708,790
13,326	234,797	810,678	709,049
13,357	234,203	804,480	703,086
13,377	234,542	804,996	703,864
13,419	233,898	805,255	704,382
13,439	233,797	805,771	704,642
13,470	234,085	805,771	704,642
13,511	233,442	806,288	705,160
13,542	232,851	806,804	705,679
13,584	233,088	805,771	704,642
13,614	232,937	804,738	703,864
13,614	232,937	804,996	703,864
13,676	232,195	804,996	704,382
13,676	232,634	805,513	704,642
13,718	232,433	805,771	705,160
13,749	231,844	804,996	704,642
13,780	231,693	804,222	704,382
13,810	231,980	804,996	704,382
13,852	231,780	804,996	704,642
13,883	231,629	805,513	705,160
13,914	230,605	805,771	705,419

13,945	230,892	805,771	705,679
13,986	231,129	806,546	706,197
14,006	230,592	806,546	706,456
14,027	230,493	806,804	706,716
14,068	230,729	805,513	705,938
14,089	229,758	804,480	704,642
14,140	229,510	804,996	705,160
14,151	229,460	804,996	705,419
14,192	229,262	805,255	705,419
14,233	229,064	805,771	705,938
14,244	229,014	805,771	706,197
14,295	228,767	806,288	706,456
14,316	228,668	806,804	707,234
14,336	229,003	806,804	707,493
14,367	228,421	806,804	707,493
14,398	229,140	807,063	708,012
14,440	228,942	807,579	708,012
14,471	228,361	807,837	708,271
14,501	228,213	808,354	708,790
14,522	228,547	808,354	709,049
14,563	228,350	808,612	709,308
14,605	227,721	809,129	709,827
14,615	228,536	809,129	710,345
14,656	228,339	809,387	710,604
14,677	227,809	809,645	710,604
14,708	227,662	810,162	711,123
14,759	227,417	810,162	711,382
14,770	227,798	810,678	711,382
14,811	227,172	810,936	711,641
14,852	226,976	811,195	712,419
14,873	226,878	811,453	712,419
14,893	226,781	808,096	709,049
14,924	226,205	804,480	705,679
14,945	226,107	804,996	706,197
14,997	226,293	805,255	706,456
15,017	226,195	805,513	706,716
15,069	225,095	805,771	707,234
15,089	225,427	806,288	707,493
15,131	225,233	806,546	708,012
15,151	225,136	805,513	706,975
15,193	225,370	804,222	705,679
15,203	224,894	804,738	705,938
15,244	224,700	804,996	706,197
15,275	224,128	805,255	706,716
15,306	223,984	805,513	707,234
15,347	224,644	805,771	707,234
15,368	224,121	806,288	707,493
15,399	224,403	806,288	708,012
15,430	224,258	806,804	708,012
15,471	224,066	806,804	708,790
15,502	223,921	807,063	708,790
15,533	223,777	807,063	709,049
15,564	223,633	807,579	709,308
15,595	223,489	807,579	709,567
15,605	223,441	808,354	709,827
15,657	223,201	808,354	710,086
15,688	222,634	808,612	710,604
15,708	223,386	809,129	710,604

15,760	222,723	809,387	711,123
15,770	222,675	809,387	711,382
15,811	222,907	809,903	711,382
15,842	221,918	810,162	711,901
15,884	221,728	808,096	710,086
15,915	221,163	804,480	706,716
15,956	221,395	804,996	707,234
15,966	222,192	804,996	707,234
16,007	221,158	805,513	707,493
16,028	221,063	805,513	708,012
16,069	220,874	805,771	708,012
16,090	220,358	806,288	708,271
16,131	220,169	806,546	708,790
16,172	219,981	806,804	708,790
16,193	220,727	806,804	709,308
16,234	220,118	807,063	709,567
16,265	219,977	807,321	709,827
16,296	220,255	807,579	710,345
16,327	220,534	807,837	710,604
16,358	219,973	808,354	710,604
16,379	220,298	808,354	711,123
16,420	220,528	808,612	711,382
16,451	220,387	809,129	711,382
16,482	220,246	809,387	712,419
16,513	220,523	809,645	712,419
16,544	219,964	804,222	707,234
16,585	219,776	804,480	707,493
16,626	219,171	804,996	708,012
16,647	219,494	804,996	708,012
16,678	219,354	805,255	708,271
16,698	219,260	805,513	708,790
16,740	219,490	805,771	708,790
16,771	219,766	806,288	709,049
16,791	219,672	806,546	709,308
16,843	219,438	806,546	709,827
16,863	218,929	806,804	709,827
16,905	218,742	807,063	710,345
16,925	219,479	807,321	710,604
16,977	219,246	807,579	710,604
17,008	219,106	807,837	711,123
17,028	219,427	808,354	711,382
17,049	218,505	808,354	711,382
17,080	218,365	809,129	711,901
17,121	219,007	808,612	712,419
17,152	218,867	809,387	712,678
17,183	217,901	804,222	707,493
17,214	217,762	804,480	708,012
17,255	218,402	804,996	708,271
17,286	218,263	804,996	708,790
17,328	218,078	805,255	708,790
17,358	217,939	805,513	708,790
17,379	217,846	805,513	709,308
17,410	217,707	805,771	709,567
17,451	217,522	806,288	709,827
17,462	217,476	806,546	710,345
17,503	217,703	806,804	710,604
17,534	217,564	804,222	708,012
17,575	217,379	804,222	708,012
17,596	217,287	804,738	708,271
17,647	217,467	804,738	708,790
17,668	217,375	805,255	708,790

17,699	216,417	805,513	709,308
17,740	216,233	805,513	709,567
17,761	216,551	805,771	709,827
17,802	216,367	806,288	710,345
17,833	216,230	806,546	710,345
17,864	216,501	806,804	710,604
17,895	216,363	807,063	711,123
17,936	216,588	807,063	711,382
17,957	216,497	807,579	711,382
17,988	216,767	807,579	711,641
18,019	217,038	807,837	711,901
18,050	216,492	807,837	712,419
18,091	216,309	808,354	712,678
18,111	216,625	808,612	713,197
18,153	216,442	808,612	713,197
18,184	216,304	809,387	713,456
18,204	216,620	809,387	713,715
18,225	215,309	804,222	708,790
18,276	215,081	804,480	709,049
18,307	214,945	804,996	709,567
18,338	214,809	804,996	709,827
18,369	214,672	805,255	710,345
18,400	214,942	805,771	710,604
18,431	214,805	805,771	710,604
18,462	215,074	806,288	710,604
18,493	214,938	806,546	711,382
18,524	214,802	806,546	711,641
18,555	214,666	806,804	711,901
18,586	215,338	807,321	712,419
18,627	214,753	807,321	712,419
18,658	214,617	807,579	712,678
18,689	214,885	807,837	713,197
18,720	214,749	808,096	713,197
18,741	214,658	808,354	713,715
18,771	214,523	808,354	713,715
18,813	214,342	808,612	713,975
18,844	214,207	809,129	713,975
18,875	214,071	809,387	714,752
18,906	213,936	809,645	715,012
18,926	213,846	809,645	715,012
18,978	214,424	809,903	715,530
19,009	213,887	810,162	715,789
19,029	214,198	810,420	715,789
19,060	214,063	810,678	716,308
19,081	213,973	810,936	716,826
19,132	214,149	810,936	716,826
19,143	214,104	811,195	717,086
19,184	213,924	811,453	717,345
19,205	213,834	811,969	717,863
19,246	213,654	811,969	718,123
19,277	213,120	806,288	712,419
19,297	213,430	804,996	710,604
19,318	213,341	804,996	711,123
19,370	213,117	805,513	711,382
19,390	213,825	805,513	711,641
20,778	96,022	805,771	711,901
20,831	95,956	806,288	712,419
20,853	96,430	806,288	712,419

20,896	95,878	806,804	712,938
20,906	95,864	806,804	713,197
20,949	95,812	807,063	713,456
20,970	95,786	807,063	713,456
21,024	95,720	804,738	710,604
21,066	95,668	804,996	711,382
21,088	96,141	804,996	711,382
21,109	95,615	805,513	711,901
21,152	96,062	805,513	711,641
21,184	96,023	805,771	712,419
21,216	95,983	805,771	712,419
21,259	95,432	806,546	712,678
21,312	95,865	806,804	713,197
21,323	95,852	806,804	713,197
21,366	95,800	807,063	713,456
21,387	95,774	807,321	713,975
21,430	95,721	807,579	713,975
21,462	96,180	807,837	713,975
21,494	96,638	807,837	714,234
21,537	96,088	808,354	714,752
21,569	96,049	808,612	715,012
21,611	96,493	808,612	715,012
21,633	95,970	808,612	715,012
21,675	95,918	809,387	715,530
21,686	96,401	809,387	715,789
21,739	96,336	809,387	715,789
21,772	96,296	803,963	710,604
21,814	95,748	804,480	711,123
21,836	96,218	804,996	711,123
21,878	96,165	804,996	711,382
21,910	96,126	805,513	711,901
21,964	96,061	805,771	712,419
21,985	96,530	805,771	712,419
22,017	95,995	805,255	711,901
22,049	95,956	804,222	710,604
22,081	95,917	804,222	711,123
22,135	96,346	804,480	711,382
22,145	96,333	804,996	711,382
22,210	96,749	805,255	711,641
22,242	95,721	805,513	711,901
22,263	96,189	805,513	712,419
22,306	96,631	805,771	712,678
22,338	96,098	805,771	712,678
22,359	97,059	806,288	712,938
22,402	96,513	806,804	713,197
22,434	95,980	805,255	711,901
22,466	95,941	804,996	711,382
22,498	96,395	804,996	711,641
22,530	96,849	804,996	711,901
22,551	97,316	805,513	712,419
22,594	97,756	805,513	712,419
22,637	97,211	805,771	712,678
22,669	97,171	806,288	713,197
22,712	97,119	804,222	711,123
22,744	97,571	804,222	711,382
22,786	97,027	804,738	711,382
22,797	97,014	804,996	711,382
22,851	96,456	805,255	711,901
22,883	96,417	804,222	711,123
22,904	96,391	804,480	711,382
22,947	95,847	804,738	711,382

22,968	95,821	804,996	711,901
23,000	95,782	804,996	712,419
23,043	95,240	805,255	712,419
23,086	95,678	805,513	712,678
23,118	95,640	805,771	712,678
23,139	95,614	805,771	712,938

7.5. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 330 kPa

CÓDIGO CORPO DE PROVA		CP-330 kPa
Data moldagem:		23.04.2018
Data saturação:		24.04.2018
Data adensamento:		24.04.2018
Data cisalhamento:		25.04.2018
Tensão efetiva de ensaio (kPa):		400
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)		5
Altura especificada Corpo de prova (cm)		10
Teor de Umidade (meta) (%)		20,0%
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm ³)		0,900
G_{solo}		3,27
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM		
Umidade média (%)		20,00%
Massa CP úmido (g)		212,05
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)		5,300
Altura média Corpo de prova (cm)		10,000
Área Corpo de prova (cm ²)		22,062
Volume Corpo de prova (cm ³)		220,618
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm ³)		0,961
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm ³)		0,801
Peso Solo obtido (g)		176,708
Vol Solo obtido (cm ³)		54,039
Volume vazios obtido (cm ³)		166,579
Grau de compactação (%)		89,00%
Variação teor umidade (%)		0,00%
Variação diâmetro (mm)		0,300
Variação altura (mm)		0,000
e após moldagem		3,083
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO		
Volume final após adensamento	cm ³	204,793
Diâmetro final após adensamento	cm	5,439
Altura final após adensamento	cm	8,814
e pos consolidação		2,804

Ensaio a 330 kPa			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,000	0,000	798,199	387,707
0,000	9,398	796,523	391,411
0,000	15,442	799,188	392,899
0,000	22,601	798,425	395,571
0,000	25,887	797,628	386,533
0,000	26,582	797,981	353,603
0,000	25,198	797,388	379,339
0,003	40,767	798,559	398,933
0,002	39,708	799,045	406,713
0,004	48,148	798,138	408,539
0,006	46,953	797,199	411,325
0,016	50,401	797,522	415,358
0,021	52,241	799,668	416,926
0,019	57,512	799,936	418,449
0,021	65,522	799,776	419,197
0,026	59,150	798,835	422,735
0,029	66,027	799,473	423,930
0,037	69,840	800,092	421,561
0,036	73,014	800,926	427,729
0,037	97,138	801,581	428,547
0,044	97,282	801,814	429,947
0,045	95,398	803,020	429,141
0,051	92,525	800,848	428,947
0,043	94,524	803,198	435,526
0,050	91,027	803,551	437,201
0,048	95,791	805,606	440,800
0,053	82,865	805,018	441,862
0,056	70,340	805,210	438,153
0,059	55,276	805,605	440,930
0,059	48,850	806,728	441,994
0,059	46,275	805,317	435,442
0,062	35,900	804,900	441,224
0,064	36,946	805,953	445,498
0,064	35,676	806,158	445,644
0,072	39,420	804,470	448,298
0,070	42,330	804,568	451,492
0,080	37,437	803,251	446,961
0,078	40,468	805,690	451,995
0,075	46,815	804,862	454,676
0,076	43,999	804,695	451,062
0,077	41,029	804,488	453,404
0,080	45,994	805,551	453,953
0,080	45,414	806,362	453,772
0,084	46,712	805,107	456,322
0,085	48,627	804,349	455,148

0,084	48,259	804,601	458,886
0,090	53,651	803,360	457,634
0,097	48,125	804,854	459,739
0,097	53,113	806,794	462,962
0,093	48,864	802,919	462,563
0,099	51,858	805,382	464,267
0,097	52,159	804,854	461,173
0,103	51,505	806,049	467,296
0,098	47,198	805,601	465,577
0,095	48,824	806,304	465,820
0,099	48,704	805,421	466,246
0,104	45,280	805,754	469,346
0,101	51,165	805,285	469,474
0,108	47,182	807,021	470,177
0,107	49,601	804,716	471,273
0,104	48,297	805,092	471,887
0,116	48,831	804,821	470,782
0,117	62,723	805,725	473,442
0,113	48,977	806,842	472,483
0,110	55,718	805,636	471,768
0,113	52,892	804,361	474,548
0,115	58,827	806,294	471,729
0,119	51,483	804,773	473,927
0,117	52,168	805,588	475,174
0,117	55,702	805,171	478,374
0,119	56,528	804,373	477,818
0,121	52,375	806,235	477,547
0,127	48,730	806,364	476,869
0,130	57,602	805,833	477,858
0,127	54,002	804,804	477,965
0,130	52,007	805,366	481,061
0,129	51,127	805,666	482,981
0,126	54,455	804,401	481,341
0,128	52,221	804,738	483,588
0,129	51,766	805,465	483,711
0,128	53,582	805,767	482,768
0,130	53,279	803,569	482,393
0,134	51,167	805,498	487,730
0,129	49,404	806,233	484,230
0,138	50,031	804,693	485,670
0,144	48,906	805,888	487,282
0,135	51,580	806,339	484,545
0,136	50,872	807,160	488,234
0,139	56,360	805,715	486,871
0,141	56,501	805,140	485,747
0,146	52,437	804,640	489,116
0,143	58,879	806,351	491,747
0,142	54,627	805,848	488,434
0,151	55,727	806,278	490,410
0,153	62,801	803,773	489,179
0,153	60,679	804,861	490,908
0,161	62,034	805,230	495,304
0,178	69,849	804,881	497,765
0,187	73,614	804,824	499,288
0,201	70,599	805,887	499,153
0,220	75,378	804,566	500,452

0,237	87,532	806,807	502,305
0,263	82,312	805,709	506,142
0,310	87,839	804,697	504,107
0,335	99,859	805,200	509,272
0,385	103,188	806,045	508,512
0,509	103,660	803,601	505,953
0,590	147,394	803,867	523,669
0,592	173,122	798,807	528,664
0,673	182,938	799,922	532,170
0,722	187,917	798,549	537,917
0,756	207,472	798,394	544,825
0,803	227,142	796,576	552,173
0,848	242,386	797,649	557,704
0,950	261,655	799,909	566,452
1,041	273,250	796,397	575,908
1,158	291,833	796,479	584,502
1,261	290,942	798,317	592,631
1,362	292,968	798,264	604,858
1,482	307,332	798,441	615,555
1,593	306,440	800,028	625,592
1,706	317,447	802,878	634,270
1,811	319,313	803,213	641,206
1,932	322,375	802,004	646,549
2,016	326,214	803,689	653,677
2,127	328,473	803,455	654,706
2,222	336,344	805,050	661,821
2,363	334,087	804,163	667,128
2,463	342,258	804,362	673,824
2,582	343,237	806,515	675,609
2,658	347,900	806,218	681,648
2,766	347,275	801,921	684,039
2,906	347,058	805,252	686,300
3,012	344,552	806,258	686,887
3,133	345,533	804,688	689,987
3,250	339,618	804,425	690,440
3,354	339,090	804,245	691,530
3,471	343,434	801,759	694,276
3,602	351,621	805,989	691,711
3,674	342,400	804,324	694,594
3,794	346,064	805,731	696,255
3,891	344,574	803,129	699,427
4,034	348,527	804,613	698,968
4,137	348,249	805,151	694,898
4,254	352,835	805,989	694,943
4,446	356,761	805,489	701,666
4,594	354,192	805,477	701,111
4,729	352,785	806,211	700,551
4,866	346,983	800,796	702,825
5,005	354,128	806,579	704,045
5,203	348,598	806,508	700,578
5,313	345,782	806,116	703,469
5,469	348,514	805,835	704,218
5,655	348,802	804,828	699,523

5,791	347,749	805,720	704,863
5,964	346,530	804,727	706,165
6,084	353,494	805,450	708,155
6,247	347,560	805,199	706,352
6,436	351,610	802,725	706,904
6,591	352,621	805,955	709,713
6,726	345,205	804,769	701,852
6,830	339,698	805,797	701,446
7,014	344,143	806,177	705,774
7,172	340,396	805,505	704,747
7,316	342,643	805,586	704,319
7,464	347,178	804,014	706,966
7,603	341,853	803,963	707,464
7,799	343,765	806,422	703,970
7,975	342,483	808,056	702,710
8,098	345,439	805,785	701,976
8,274	337,066	802,184	703,455
8,436	335,256	806,322	699,112
8,575	332,340	806,360	705,821
8,714	330,638	806,002	707,073
8,840	329,758	804,098	704,612
9,016	329,729	804,981	702,443
9,159	328,863	804,581	705,649
9,307	328,407	805,875	701,175
9,468	331,041	806,342	704,576
9,601	328,791	805,178	702,547
9,761	326,340	806,115	701,490
9,918	329,534	806,380	700,363
10,033	323,668	805,398	700,246
10,178	331,569	803,995	701,451
10,345	327,310	804,826	699,656
10,477	326,088	805,240	699,190
10,640	328,279	806,292	699,752
10,802	329,311	805,332	697,337
10,943	327,239	806,990	695,490
11,086	322,671	802,283	695,653
11,245	323,563	804,407	700,136
11,401	319,700	805,608	699,765
11,559	321,787	805,913	698,972
11,711	326,534	806,100	693,889
11,815	331,611	801,755	699,871
11,981	324,549	805,565	700,148
12,160	327,278	804,406	698,173
12,269	325,519	803,815	700,545
12,429	323,508	806,099	695,142
12,587	322,719	804,813	696,153
12,729	322,187	804,496	698,203
12,864	320,687	806,665	700,563
13,031	321,844	805,768	700,498
13,157	316,213	805,696	695,245
13,311	319,742	806,341	695,703
13,464	324,059	804,457	696,522
13,626	323,230	805,850	700,037
13,758	331,268	806,169	695,181
13,901	319,539	805,757	697,679
14,014	324,459	805,724	696,243

14,202	322,391	805,973	699,845
14,324	322,564	805,133	701,126
14,510	327,091	806,099	700,676
14,647	322,544	805,253	702,341
14,784	326,840	805,186	700,655
14,942	323,940	804,732	698,821
15,111	325,962	805,665	699,344
15,212	323,247	805,353	696,358
15,427	324,453	806,698	699,415
15,525	312,774	803,562	697,038
15,724	313,052	806,143	700,163
15,884	316,110	801,794	696,337
16,010	315,985	805,979	696,145
16,196	319,610	805,140	699,883
16,324	321,129	804,640	703,101
16,463	313,201	804,892	699,749
16,617	324,009	803,457	697,546
16,785	321,110	804,344	696,979
16,916	322,789	806,266	699,308
17,041	326,453	805,708	698,166
17,208	325,811	805,980	694,845
17,354	325,221	804,769	696,403
17,509	328,148	802,520	695,036
17,678	330,658	804,489	694,971
17,818	325,990	804,283	697,884
17,982	328,270	806,788	693,664
18,150	330,589	805,110	696,577
18,344	326,792	805,709	700,906
18,420	325,971	803,601	701,212
18,587	318,344	806,682	696,418
18,752	324,219	804,730	699,760
18,901	325,019	804,254	698,987
19,087	326,514	804,847	699,898
19,231	325,855	803,369	699,121
19,453	328,059	805,959	700,791
19,547	330,432	804,407	697,183
19,762	320,373	804,101	695,138
19,852	322,073	806,488	694,705
19,993	324,290	806,465	695,660
20,154	323,206	803,333	695,066
20,340	312,099	805,286	694,989
20,409	316,109	804,718	699,986
20,616	319,705	806,104	695,696
20,758	312,741	805,264	690,686
20,928	312,030	805,041	692,207
21,035	314,212	803,858	694,212
21,220	307,147	804,702	687,840
21,335	306,462	805,219	692,300
21,496	305,900	803,840	686,817
21,632	305,835	806,226	693,158
21,800	302,973	805,616	686,228
21,946	301,917	800,524	687,890
22,085	300,202	803,927	690,376

22,210	302,222	805,300	687,194
22,426	299,750	805,916	690,319
22,540	294,958	806,231	692,802
22,707	293,849	804,257	688,966
22,865	298,003	803,310	690,118
22,987	292,675	805,250	691,386
23,153	297,925	805,144	693,419
23,319	293,956	806,579	693,580
23,451	291,272	805,212	690,318
23,603	293,075	805,905	688,822
23,752	282,075	802,318	693,264
23,859	292,949	806,173	684,664
23,985	290,822	804,522	694,285
24,191	289,466	806,007	685,285
24,307	289,858	806,174	694,999
24,431	291,714	805,323	690,957
24,631	292,812	805,388	692,164
24,770	287,637	804,355	690,655
24,909	290,513	804,873	692,442
25,093	293,674	805,427	691,266
25,150	295,302	805,729	691,631
25,310	295,133	806,450	691,441
25,489	295,554	804,295	691,137
25,675	291,643	803,272	690,425
25,796	290,718	805,980	695,000
25,981	288,176	806,785	695,537
26,071	286,354	804,888	695,751
26,259	288,216	807,176	693,884
26,405	285,656	805,658	689,712
26,578	283,921	806,008	690,342
26,751	281,221	802,288	696,256
26,853	283,848	803,573	692,922
26,875	242,728	803,575	696,498
26,870	225,801	801,263	698,683
26,880	218,147	798,966	700,139
26,879	209,336	799,262	701,506
26,882	205,290	797,806	703,329
26,884	200,194	798,977	701,536
26,876	197,829	797,266	704,384
26,876	199,033	797,782	706,025
26,873	189,861	797,103	707,324
26,865	186,387	797,653	704,842
26,860	188,097	797,435	700,468
26,882	183,846	799,172	699,971
26,876	183,616	798,057	702,599
26,889	181,870	798,065	704,608
26,897	181,994	795,384	702,799
26,892	175,308	798,294	701,015
26,896	174,467	796,987	703,565
26,894	171,468	797,784	702,241
26,909	169,531	797,175	698,999
26,907	174,549	796,414	698,757
26,904	173,826	796,184	708,159
26,904	170,183	798,446	699,661
26,901	166,842	798,374	704,513
26,900	170,464	798,818	709,545

26,905	163,521	798,049	701,367
26,901	163,020	799,747	710,041
26,910	162,532	797,159	705,588
26,905	163,096	796,043	702,102
26,910	161,527	799,761	701,327
26,926	159,349	795,945	698,028
26,916	159,580	799,093	701,552
26,915	158,646	798,898	702,253
26,926	156,153	798,462	706,675
26,921	159,075	800,234	705,946
26,920	157,993	801,556	709,926
26,928	154,463	800,981	703,312
26,917	152,822	800,465	695,608
26,927	152,995	800,552	691,849
26,921	155,783	796,147	706,796
26,931	153,965	798,183	703,056
26,920	153,747	798,868	702,105
26,921	151,219	801,457	700,057
26,921	152,230	800,616	702,349
26,926	151,970	798,493	702,411
26,934	154,585	798,927	704,323
26,930	152,195	798,312	703,810
26,932	151,200	799,292	701,607
26,928	151,912	800,547	693,254
26,924	150,032	798,983	698,352
26,921	150,011	798,985	698,695
26,923	152,550	800,765	707,539
26,930	148,842	799,101	700,521
26,926	151,108	798,781	699,439
26,920	145,607	798,352	694,372
26,923	149,619	796,283	692,546
26,917	148,449	797,693	706,003
26,922	147,924	799,154	698,409
26,924	145,824	798,176	698,987
26,922	143,802	799,404	692,762
26,917	145,426	797,494	691,389
26,911	151,339	799,493	701,026
26,916	144,869	797,936	701,501
26,918	145,243	797,501	705,181
26,922	145,166	793,743	700,343
26,917	141,960	797,850	692,547
26,924	150,423	798,371	698,271
26,930	139,850	794,750	701,513
26,922	142,517	797,663	700,071
26,921	142,197	796,449	700,487
26,920	142,129	800,524	701,952
26,921	141,896	798,620	698,891
26,929	143,050	798,117	707,242
26,925	142,540	799,455	707,400
26,933	143,000	797,777	704,484
26,930	144,577	797,729	708,824
26,920	141,965	796,926	703,412
26,926	139,875	801,356	702,119

26,934	144,511	800,714	703,304
26,931	141,639	799,643	702,555
26,942	142,149	797,755	700,982
26,930	140,373	798,299	707,256
26,935	141,313	799,552	701,340
26,935	142,368	798,077	710,728
26,942	142,716	798,946	706,311
26,939	140,491	797,525	699,485
26,940	141,631	796,103	707,787
26,933	139,384	798,379	710,005
26,936	138,970	795,980	703,871
26,954	139,137	801,306	700,433
26,941	136,939	800,726	700,033
26,947	140,804	799,852	699,260
26,946	140,904	799,130	702,307
26,946	139,218	799,181	703,528
26,941	137,021	795,727	700,501
26,949	138,597	800,914	705,310
26,951	135,812	800,803	701,200
26,947	136,679	800,857	704,787
26,954	135,453	800,038	707,749
26,966	138,841	800,192	707,236
26,956	135,364	800,579	698,628
26,956	137,414	799,269	706,772
26,949	137,431	795,135	705,154
26,957	137,934	798,575	707,163
26,945	135,512	801,097	707,996
26,948	136,123	801,706	703,297
26,954	137,669	802,890	714,037
26,960	139,408	802,565	705,626
26,946	135,385	800,711	709,667
26,954	135,438	802,547	709,728
26,951	137,763	801,524	715,686
26,951	136,379	801,999	707,861
26,953	133,988	801,736	701,507
26,945	133,182	801,497	700,038
26,953	133,911	800,049	705,156
26,945	133,956	799,379	711,522
26,948	133,970	799,108	708,731
26,948	135,908	800,134	708,491
26,955	134,704	797,705	710,010
26,962	135,241	799,776	706,832
26,948	133,748	798,003	714,960
26,951	133,124	797,811	709,730
26,957	135,052	798,769	710,827
26,948	133,877	798,968	710,284
26,951	131,815	798,352	708,570
26,948	133,153	799,186	712,823
26,948	136,402	798,159	713,023
26,964	133,713	797,558	706,763
26,950	130,804	801,169	711,664
26,947	136,001	798,209	710,064
26,945	134,715	797,776	712,017
26,946	134,016	802,664	711,791
26,947	133,140	802,136	715,272
26,951	134,487	800,617	716,173

26,948	135,394	799,053	711,895
26,948	130,009	798,087	713,465
26,966	133,770	801,826	713,560
26,955	133,401	799,037	716,045
26,956	132,486	798,766	713,809
26,962	134,778	798,297	710,797
26,965	134,960	798,559	711,967
26,959	131,684	798,274	707,135
26,955	130,664	796,115	709,229
26,963	133,746	796,902	708,797
26,962	134,856	801,033	709,249
26,957	131,089	797,262	708,437
26,959	131,404	798,545	708,712
26,968	133,896	798,573	706,392
26,960	130,265	799,934	709,234
26,956	130,277	799,066	712,141
26,967	131,942	797,848	713,064
26,962	131,723	798,519	710,915
26,966	130,457	797,620	711,064
26,956	131,544	797,354	715,516
26,950	131,775	800,057	715,042
26,954	129,935	798,676	726,210
26,956	131,478	796,666	725,806
26,959	130,411	799,872	724,932
26,955	132,446	798,309	727,664
26,961	133,543	799,756	723,945
26,965	129,141	798,202	720,992
26,960	129,077	799,033	719,841
26,957	129,538	797,216	721,353
26,956	131,045	799,373	725,760
26,954	128,352	797,227	722,251
26,957	131,036	796,838	722,623
26,960	128,975	798,283	723,073
26,965	128,844	797,986	718,036
26,958	129,954	795,692	720,236
26,959	127,456	797,695	719,535
26,960	128,954	798,614	717,421
26,966	134,407	798,322	713,608
26,957	127,364	798,188	711,823
26,967	126,869	801,416	717,550
26,967	132,711	800,665	714,792
26,969	127,075	800,507	712,354
26,971	132,656	800,211	706,015
26,970	131,160	800,013	720,953
26,979	132,111	799,321	718,832
26,963	129,443	800,439	720,198
26,977	131,847	800,544	720,021
26,963	124,760	799,242	713,971
26,974	128,703	798,986	717,205
26,970	125,941	799,490	714,887
26,978	127,486	800,643	717,549
26,962	127,691	799,462	715,235
26,966	128,097	800,128	711,175

26,967	127,129	798,801	716,860
26,971	128,367	799,509	710,097
26,968	128,139	800,248	706,766
26,973	129,550	798,454	714,455
26,969	126,002	795,945	708,091
26,965	131,186	799,904	713,187
26,967	126,156	799,250	707,545
26,970	125,182	801,185	714,342
26,969	125,900	800,153	715,627
26,965	126,120	800,346	714,680
26,971	126,743	802,214	716,891
26,979	127,157	801,683	715,234
26,981	126,526	801,574	697,661
26,971	125,784	800,319	710,744
26,974	125,707	800,591	703,170
26,972	125,247	800,558	704,216
26,972	126,075	799,152	712,178
26,965	124,502	800,646	705,764
26,970	129,343	801,049	704,442
26,970	128,664	800,030	707,375
26,970	123,588	799,152	709,206
26,976	124,475	798,532	711,587
26,971	128,127	798,345	716,073
26,969	126,312	799,710	709,673
26,969	123,999	800,202	714,149
26,970	127,249	800,543	705,600
26,972	128,842	800,525	709,996
26,973	125,209	799,761	718,273
26,977	124,877	800,411	715,263
26,971	123,184	800,134	716,272
26,979	123,343	799,886	713,018
26,972	122,777	799,613	714,526
26,982	128,209	798,648	716,216
26,975	124,410	798,414	716,823
26,965	124,620	800,481	718,188
26,970	124,375	798,979	718,304
26,975	126,712	799,793	716,406
26,965	126,594	799,992	718,627
26,982	126,238	799,823	717,355
26,967	127,534	799,202	718,462
26,976	126,304	799,726	718,993
26,971	130,095	797,965	718,870
26,978	126,157	800,024	712,469
26,975	123,479	800,242	697,962
26,975	125,826	799,575	710,313
26,966	123,368	797,329	709,772
26,981	124,934	798,427	706,492
26,969	122,071	799,436	712,260
26,970	123,425	800,073	716,665
26,972	125,600	801,437	710,578
26,963	126,591	801,333	713,171
26,973	123,134	802,484	709,151
26,978	128,245	800,979	711,115
26,968	123,780	802,503	707,243
26,972	123,049	802,279	714,421
26,970	123,105	801,979	716,395

26,970	127,235	802,649	713,435
26,992	124,999	804,228	714,224
26,976	128,190	802,517	715,693
26,971	123,347	803,993	719,742
26,970	124,082	804,716	712,520
26,975	123,903	805,114	709,549
26,974	122,989	803,820	706,757
26,985	128,636	805,225	714,539
26,968	120,912	803,770	711,769
26,972	127,271	805,346	707,164
26,975	122,915	806,255	708,452
26,976	128,101	804,608	710,304
26,967	120,628	805,251	715,681
26,967	123,230	805,748	718,337
26,976	122,981	804,014	720,373
26,977	121,853	804,429	721,025
26,976	124,350	804,001	716,516
26,974	122,758	805,532	716,420
26,990	120,760	803,716	715,235
26,979	124,212	805,148	712,304
26,985	124,353	805,756	716,105
26,983	126,079	804,916	718,837
26,973	125,892	804,014	721,141
26,967	124,888	804,308	717,392
26,971	123,738	804,491	717,768
26,978	120,705	805,318	717,155
26,978	123,709	806,273	716,055
26,977	126,061	805,221	716,750
26,973	122,283	806,126	718,723
26,982	126,525	804,792	723,152
26,972	123,487	804,952	722,852
26,973	124,386	804,296	721,450
26,975	125,281	805,287	723,159
26,968	123,695	804,389	722,562
26,970	121,506	805,884	719,358
26,975	124,692	804,902	721,544
26,968	123,336	804,789	721,076
26,970	123,117	803,960	721,351
26,974	126,711	804,312	721,500
26,974	124,713	805,996	706,702
26,976	123,633	804,105	712,461
26,972	122,432	804,856	720,950
26,970	123,162	805,223	722,154
26,975	125,882	804,544	721,182
26,979	121,066	804,819	720,577
26,975	121,394	804,486	705,455
26,983	122,632	805,326	713,422
26,980	123,337	803,607	712,523
26,971	124,704	804,682	715,043
26,979	122,522	806,028	709,780
26,985	122,953	802,351	719,304
26,974	123,007	805,092	714,674
26,974	124,044	804,727	710,107

26,972	127,145	803,823	709,328
26,973	123,815	806,181	715,061
26,983	125,238	804,233	718,341
26,973	127,826	806,609	713,863
26,972	125,719	802,211	718,289
26,975	124,382	804,780	711,972
26,974	121,387	807,107	707,534
26,970	123,846	804,283	720,674
26,967	123,210	805,168	714,400
26,985	124,240	804,850	714,483
26,976	125,310	806,748	714,184
26,975	122,653	803,541	715,052
26,974	124,390	806,231	715,402
26,976	125,025	804,357	708,968
26,981	121,964	803,910	707,116
26,973	125,106	803,880	704,927
26,977	122,516	805,626	717,138
26,981	122,405	806,055	703,284
26,981	121,029	805,698	697,796
26,979	123,727	804,098	705,235
26,967	123,053	804,483	711,822
26,975	125,324	804,577	718,131
26,966	124,772	805,893	719,236
26,978	125,788	805,569	711,812
26,976	122,554	804,022	715,477
26,971	123,684	805,241	709,760
26,971	121,894	805,913	707,593
26,974	122,490	804,942	702,740
26,976	122,748	805,283	710,313
26,972	124,150	805,562	708,882
26,972	123,007	805,747	709,241
26,976	120,036	804,876	714,695
26,970	125,977	805,159	717,303
26,968	123,405	805,532	714,926
26,971	121,635	805,280	712,670
26,977	124,679	804,863	711,296
26,983	124,742	805,419	717,416
26,977	122,540	805,709	714,337
26,977	122,243	805,932	715,113
26,970	120,401	803,842	713,642
26,972	123,428	806,488	712,837
26,980	128,079	803,834	711,243
26,984	122,008	805,290	713,801
26,979	120,434	805,887	710,401
26,988	121,109	805,865	719,441
26,974	119,888	805,416	717,239
26,974	121,214	804,556	716,939
26,970	124,507	804,606	716,170
26,979	124,246	805,142	719,767
26,975	122,866	803,865	719,435
26,971	121,592	805,660	721,164
26,975	123,410	804,163	716,462
26,981	132,989	805,828	719,307
26,968	122,122	804,722	717,177
26,983	123,232	805,722	716,337
26,969	120,892	801,411	709,988

26,974	129,452	804,797	715,132
26,972	123,011	803,068	715,797
26,986	123,605	805,358	702,704
26,972	124,892	804,614	715,556
26,970	131,119	805,852	710,311
26,976	122,861	805,325	693,726
26,972	120,801	804,515	689,302
26,980	124,073	806,098	689,852
26,981	124,977	802,698	698,205
26,979	125,651	804,549	696,326
26,970	124,507	803,083	708,109
26,977	125,105	805,239	694,457
26,983	123,132	803,799	704,877
26,965	125,279	804,961	708,875
26,972	124,579	804,581	712,951
26,973	121,602	804,029	715,328
26,981	121,261	803,274	700,960

7.6. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 1000 kPa com descarregamento

CÓDIGO CORPO DE PROVA		CP-1000 kPa-com desc
Data moldagem:		04.07.2018
Data saturação:		05.07.2018
Data adensamento:		05.07.2018
Data cisalhamento:		06.07.2018
Tensão efetiva de ensaio (kPa):		1000
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)		5
Altura especificada Corpo de prova (cm)		10
Teor de Umidade (meta) (%)		20,0%
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm ³)		0,800
G_{solo}		3,27
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM		
Umidade média (%)		21,67%
Massa CP úmido (g)		207,35
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)		4,987
Altura média Corpo de prova (cm)		9,972
Área Corpo de prova (cm ²)		19,533
Volume Corpo de prova (cm ³)		194,783
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm ³)		1,065
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm ³)		0,875
Peso Solo obtido (g)		172,790
Vol Solo obtido (cm ³)		52,841
Volume vazios obtido (cm ³)		141,942
Grau de compactação (%)		109,37%
Variação teor umidade (%)		1,67%
Variação diâmetro (mm)		-0,013
Variação altura (mm)		-0,028
e após moldagem		2,686
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO		
Volume final após adensamento	cm ³	176,279
Diâmetro final após adensamento	cm	5,065
Altura final após adensamento	cm	8,747
e pos consolidação		2,539

Ensaio a 1000 kPa.desc			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,000	0,000	1395,468	505,991
0,000	95,899	1393,868	508,438
0,035	107,794	1395,077	512,835
0,089	123,538	1396,402	513,244
0,121	147,275	1393,769	516,353
0,111	158,711	1401,305	517,601
0,120	186,051	1397,092	508,178
0,165	193,753	1391,435	515,020
0,184	203,064	1389,380	524,668
0,202	232,279	1392,643	522,159
0,223	234,900	1394,002	523,251
0,248	247,696	1396,932	526,974
0,255	260,644	1393,668	534,120
0,314	272,064	1394,507	515,723
0,325	281,688	1391,866	527,322
0,312	295,049	1395,179	537,285
0,378	299,540	1390,061	531,624
0,392	310,310	1395,316	540,862
0,414	319,038	1392,596	542,366
0,457	332,485	1394,899	535,265
0,466	335,486	1398,280	536,000
0,539	346,354	1395,113	544,645
0,552	354,610	1396,017	550,436
0,580	360,686	1390,552	549,696
0,597	373,463	1392,733	548,773
0,613	376,889	1393,352	553,032
0,650	387,767	1391,803	553,988
0,687	393,935	1393,135	558,452
0,717	407,432	1393,818	564,201
0,776	421,081	1389,665	558,189
0,768	426,970	1395,558	567,168
0,791	433,729	1394,969	570,226
0,833	437,460	1392,055	566,607
0,858	446,515	1392,448	578,904
0,911	448,564	1392,475	570,807
0,965	463,779	1393,132	580,449
0,991	465,001	1391,130	581,857
1,007	467,641	1396,061	582,848
1,007	486,564	1396,463	581,265
1,103	489,057	1395,168	587,864
1,085	496,304	1396,271	589,078
1,141	500,131	1391,417	597,825
1,162	508,307	1393,900	594,289
1,217	510,626	1394,363	595,753
1,229	513,820	1392,544	600,914
1,309	520,972	1393,607	602,312
1,322	525,393	1396,185	605,695
1,324	526,377	1395,869	614,842
1,389	534,716	1395,514	620,138
1,402	538,704	1392,154	618,300
1,445	538,939	1392,191	617,889
1,480	547,873	1393,335	620,999

1,528	555,530	1392,414	621,381
1,548	550,402	1394,800	628,790
1,605	556,633	1395,803	631,472
1,642	559,722	1395,578	628,764
1,642	562,541	1392,557	630,771
1,711	556,908	1391,755	628,695
1,699	558,134	1394,236	634,383
1,770	563,723	1390,681	630,675
1,817	561,752	1390,870	636,569
1,770	564,714	1400,103	623,057
1,774	257,748	1397,081	634,797
1,819	303,595	1397,836	633,744
1,801	332,833	1395,401	637,850
1,846	372,691	1393,835	638,364
1,745	386,158	1392,879	635,797
1,754	412,493	1389,360	647,085
1,813	428,192	1392,950	640,763
1,802	449,501	1395,517	650,177
1,800	465,263	1397,910	647,440
1,801	484,113	1396,066	642,744
1,756	501,776	1395,467	653,343
1,847	502,908	1394,313	653,748
1,750	517,651	1394,929	656,693
1,816	524,059	1395,091	659,598
1,751	533,403	1397,600	663,533
1,799	544,495	1398,228	668,395
1,759	558,358	1397,185	655,996
1,782	558,726	1395,158	665,362
2,155	564,346	1400,019	671,552
2,161	567,413	1397,322	668,327
2,207	584,801	1395,328	672,670
2,201	582,733	1395,838	672,498
2,283	580,194	1396,929	672,220
2,273	582,404	1397,604	677,828
2,318	584,968	1396,588	682,585
2,389	592,126	1395,640	685,453
2,423	598,632	1396,512	688,366
2,437	604,381	1393,218	698,859
2,447	609,073	1395,625	698,900
2,485	614,500	1393,247	692,394
2,557	617,924	1393,996	700,964
2,635	619,161	1391,345	697,168
2,619	622,247	1397,636	700,914
2,694	627,748	1394,913	700,516
2,713	631,811	1393,805	704,039
2,730	635,903	1393,173	710,020
2,762	635,042	1393,882	718,078
2,783	651,654	1394,437	714,870
2,830	648,879	1394,420	716,579
2,915	648,283	1393,456	716,379
2,909	650,122	1393,251	733,446
2,962	651,470	1392,725	727,402
2,968	658,941	1391,530	724,480
3,042	651,710	1399,419	728,863
3,080	660,818	1396,877	729,228
3,166	663,645	1400,233	734,431
3,144	671,739	1396,592	743,469
3,183	673,346	1394,304	741,463
3,207	665,356	1394,765	743,782
3,266	671,377	1394,106	745,506
3,295	670,683	1394,687	746,343

3,310	683,469	1392,034	757,652
3,720	680,639	1393,153	752,035
3,717	676,976	1398,836	739,342
3,708	525,000	1393,954	737,232
3,691	495,000	1394,789	731,598
3,695	470,000	1392,308	737,524
3,691	355,883	1395,134	737,636
3,736	399,000	1390,523	740,888
3,700	338,000	1395,556	740,301
3,677	369,000	1394,945	748,892
3,510	319,000	1396,747	742,271
3,701	290,000	1396,894	707,549
3,703	270,000	1394,327	739,166
3,680	265,000	1391,855	728,676
3,698	263,000	1396,297	733,394
3,612	267,000	1397,295	733,546
3,715	261,000	1399,685	723,717
3,671	264,000	1396,137	729,367
3,689	283,000	1396,746	729,778
3,645	285,000	1398,613	725,272
3,684	286,000	1395,444	726,200
3,654	290,000	1397,113	722,471
3,687	300,000	1399,108	730,608
3,653	310,000	1398,066	733,237
3,750	320,000	1395,427	735,632
3,667	330,000	1398,655	738,262
3,664	350,000	1397,540	726,888
3,729	355,000	1398,621	726,913
3,682	360,000	1395,196	720,985
3,671	375,000	1396,394	722,069
3,659	390,000	1393,485	718,763
3,709	400,000	1391,690	726,293
3,625	410,000	1399,506	727,238
3,694	415,000	1397,527	730,257
3,738	420,000	1392,718	730,903
3,698	422,000	1397,573	733,208
3,710	338,755	1396,919	736,902
3,685	373,975	1395,184	738,670
3,691	399,773	1396,082	744,364
3,708	430,771	1388,850	743,272
3,664	458,139	1393,938	747,677
3,682	488,039	1392,240	749,510
3,695	507,306	1393,084	753,035
3,696	537,020	1394,260	759,307
3,683	557,981	1397,166	764,704
3,680	571,954	1394,075	765,424
3,701	603,039	1392,644	765,356
3,670	606,297	1394,536	773,461
3,728	621,610	1390,973	779,387
3,675	649,031	1397,352	784,552
3,657	653,605	1396,552	785,787
3,649	668,459	1397,917	781,842
3,720	678,662	1391,086	798,299
3,721	697,118	1389,994	798,822
3,723	707,871	1395,357	801,881
3,751	716,600	1396,709	808,449
3,799	725,525	1396,003	802,172
3,830	724,091	1395,008	809,557

3,903	735,867	1396,714	821,242
3,917	741,571	1395,957	817,898
3,944	753,053	1394,376	823,962
4,018	754,017	1393,631	826,284
3,983	775,589	1394,829	832,324
4,067	773,455	1393,010	827,506
4,061	779,437	1395,087	841,080
4,118	784,692	1392,333	836,250
4,176	795,773	1396,325	841,699
4,193	801,910	1399,491	842,873
4,209	812,761	1394,552	845,723
4,283	801,912	1394,800	850,619
4,322	806,394	1398,500	850,378
4,353	813,349	1395,911	853,263
4,376	816,393	1393,188	857,882
4,429	815,467	1396,512	866,609
4,474	818,992	1388,964	867,013
4,490	838,274	1397,227	872,186
4,515	834,569	1393,300	875,034
4,551	825,377	1396,302	874,862
4,600	835,856	1396,215	885,785
4,645	838,155	1399,174	884,675
4,684	836,681	1400,241	880,280
4,711	831,602	1398,358	890,740
4,742	833,665	1400,032	886,871
4,774	838,249	1397,898	895,976
4,780	840,621	1397,090	892,536
4,846	848,168	1397,307	899,237
4,823	841,572	1393,762	907,163
4,946	847,283	1395,908	907,409
4,999	844,080	1396,600	908,830
4,996	853,497	1396,004	916,843
5,035	853,275	1396,211	912,605
5,084	856,467	1395,152	913,649
5,132	874,515	1395,302	919,508
5,154	859,645	1393,116	921,631
5,217	854,525	1397,242	922,563
5,225	854,981	1394,483	924,091
5,328	859,659	1396,494	931,563
5,337	859,324	1395,970	927,342
5,364	865,242	1396,010	930,210
5,365	868,544	1396,043	932,349
5,426	875,762	1397,470	936,047
5,442	874,655	1394,687	941,034
5,527	873,591	1391,675	940,061
5,535	879,567	1399,348	937,552
5,600	874,231	1394,946	935,841
5,668	874,088	1395,721	944,136
5,642	882,172	1395,468	946,720
5,681	878,163	1396,851	948,206
5,722	875,464	1397,590	947,105
5,742	879,519	1394,896	958,968
5,808	883,254	1393,079	949,090
5,838	883,311	1390,855	954,675
5,872	885,573	1394,679	959,517
5,925	883,878	1394,757	963,901
5,968	885,867	1392,435	959,035
5,975	889,192	1389,091	957,891
6,041	895,964	1392,940	969,502
6,046	896,109	1395,510	963,466
6,125	893,513	1395,788	972,475

6,158	892,185	1396,268	966,861
6,205	898,533	1396,661	973,933
6,231	899,529	1395,513	971,970
6,269	899,557	1392,467	977,594
6,302	890,067	1395,359	982,723
6,386	894,418	1390,616	976,182
6,391	901,916	1395,066	973,937
6,428	896,349	1391,866	980,789
6,502	898,610	1394,341	982,498
6,464	899,035	1392,684	979,163
6,530	901,188	1396,015	983,003
6,584	899,949	1394,000	987,022
6,612	900,931	1397,735	989,322
6,648	908,484	1396,619	986,985
6,734	902,432	1396,406	988,871
6,734	903,474	1397,689	982,869
6,762	910,595	1393,844	992,286
6,805	903,118	1394,249	992,221
6,872	911,748	1390,266	991,634
6,910	903,753	1394,830	993,675
6,932	908,714	1391,338	1002,481
6,969	919,259	1392,830	989,596
6,984	911,771	1389,558	996,469
7,017	911,621	1391,787	995,395
7,090	910,748	1391,557	1003,043
7,114	908,824	1396,551	997,376
7,149	913,141	1398,660	1003,449
7,161	913,571	1395,982	993,483
7,233	917,736	1395,567	1005,540
7,231	915,384	1397,199	1004,884
7,311	907,249	1395,445	1011,101
7,337	913,039	1396,638	1006,460
7,391	912,974	1397,148	1005,071
7,467	913,079	1395,349	1011,999
7,431	915,936	1392,526	1013,918
7,465	916,763	1390,287	1014,142
7,549	916,681	1396,252	1016,606
7,579	914,682	1394,969	1010,092
7,651	918,674	1392,817	1009,013
7,659	917,157	1397,999	1021,877
7,643	915,847	1395,730	1015,500
7,716	924,149	1395,781	1028,925
7,779	920,714	1395,125	1020,705
7,805	920,331	1395,069	1009,940
7,834	916,026	1392,318	1018,776
7,846	922,787	1397,831	1030,172
7,939	919,054	1398,901	1017,559
7,949	927,792	1398,692	1019,403
8,003	930,243	1392,756	1028,342
8,008	917,087	1395,883	1017,985
8,102	928,762	1397,042	1036,670
8,064	932,045	1397,357	1021,368
8,151	924,135	1398,145	1025,834
8,182	923,015	1399,056	1023,142
8,231	927,922	1397,255	1019,697
8,287	922,916	1397,521	1022,231
8,333	928,738	1397,118	1029,220
8,337	927,343	1400,157	1026,220

8,347	929,538	1399,219	1024,553
8,406	924,465	1397,335	1037,288
8,461	933,575	1398,634	1032,414
8,490	923,646	1397,549	1033,475
8,509	930,971	1398,514	1030,479
8,553	929,417	1397,061	1025,348
8,609	938,003	1393,509	1029,388
8,642	931,142	1394,956	1033,774
8,665	935,928	1396,002	1031,376
8,732	931,771	1394,865	1035,542
8,767	937,496	1398,204	1033,062
8,773	937,497	1396,805	1030,527
8,789	935,893	1397,943	1041,505
8,832	947,966	1395,584	1035,644
8,857	950,080	1396,323	1028,666
8,935	951,556	1396,071	1031,100
8,958	945,776	1395,382	1028,848
9,012	944,779	1397,470	1020,138
9,054	951,800	1397,832	1031,052
9,111	941,944	1396,151	1029,929
9,143	946,659	1397,875	1026,301
9,161	947,014	1394,171	1026,655
9,167	947,506	1390,696	1019,345
9,233	951,141	1392,990	1030,055
9,234	955,705	1400,019	1024,437
9,306	953,608	1398,143	1020,631
9,338	952,648	1400,226	1023,745
9,403	961,664	1397,580	1016,770
9,489	960,971	1394,044	1020,783
9,494	954,423	1393,843	1023,264
9,505	957,645	1399,331	1015,046
9,517	967,075	1393,282	1021,606
9,549	954,477	1396,270	1013,598
9,612	957,913	1394,478	1016,245
9,673	953,221	1391,412	1006,470
9,720	958,933	1394,857	1012,566
9,792	957,935	1395,336	1020,544
9,775	958,754	1397,738	1009,394
9,824	955,544	1393,569	1009,261
9,889	963,404	1397,778	1021,818
9,900	963,176	1396,515	1017,299
9,932	964,046	1395,873	1016,724
9,958	961,629	1397,073	1017,203
10,035	963,970	1396,218	1010,181
10,046	958,057	1399,692	1015,149
10,108	961,178	1396,996	1010,651
10,150	962,733	1396,585	1015,850
10,159	958,556	1397,787	1019,468
10,187	965,151	1395,416	1012,687
10,210	965,864	1397,033	1016,266
10,282	958,731	1394,982	1009,064
10,337	960,442	1395,197	1013,021
10,342	962,096	1396,337	1013,117
10,380	965,700	1398,061	1012,676
10,444	959,915	1397,082	1012,429
10,446	955,021	1398,556	1009,467
10,489	957,203	1398,144	1014,730
10,500	954,502	1397,919	1006,846
10,562	953,054	1395,698	1010,956
10,623	956,588	1398,105	1015,703
10,658	954,071	1397,118	1006,810

10,723	961,504	1396,843	1012,166
10,690	961,881	1396,769	1011,845
10,743	963,965	1388,666	1001,784
10,803	976,990	1389,531	1009,379
10,831	969,368	1399,177	1010,966
10,870	966,886	1389,978	1010,061
10,988	975,033	1398,776	1001,038
10,980	965,396	1396,152	1007,827
11,014	961,702	1395,823	1017,018
11,045	967,019	1397,124	999,550
11,067	972,498	1395,398	1005,201
11,088	966,699	1393,912	1009,260
11,166	962,571	1399,351	1005,549
11,214	972,668	1398,766	1008,144
11,205	960,813	1399,996	1009,343
11,243	966,002	1398,179	1008,716
11,249	972,956	1398,191	1008,498
11,349	964,841	1397,995	1012,736
11,421	968,938	1394,256	1009,613
11,437	967,506	1399,175	1006,897
11,450	968,783	1397,127	1005,586
11,472	966,962	1397,519	1017,772
11,501	971,457	1395,031	1004,485
11,566	971,749	1394,322	1004,120
11,567	973,196	1395,091	1005,983
11,625	974,081	1397,920	1002,806
11,680	977,278	1396,019	1006,106
11,706	971,080	1397,799	1007,468
11,767	966,732	1400,006	1005,457
11,792	985,463	1398,067	1002,920
11,863	979,436	1395,072	1007,127
11,885	978,972	1399,120	1006,899
11,898	989,254	1396,360	1010,512
11,947	980,579	1396,233	997,710
12,003	985,760	1397,609	1002,533
12,007	984,425	1399,317	998,513
12,059	976,639	1398,314	1001,524
12,077	984,075	1396,569	1000,208
12,119	982,472	1394,159	992,393
12,158	986,625	1397,311	1006,818
12,234	980,424	1397,362	994,992
12,255	998,483	1394,296	1006,553
12,265	1001,187	1394,345	999,965
12,312	989,285	1394,933	998,142
12,373	987,872	1394,747	999,076
12,398	995,549	1393,065	1004,845
12,421	991,510	1391,473	997,224
12,524	997,736	1398,570	1001,537
12,507	997,247	1394,946	1000,971

7.7. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 1000 kPa sem descarregamento

CÓDIGO CORPO DE PROVA		CP-1000 kPa-sem desc
Data moldagem:		13.07.2018
Data saturação:		14.07.2018
Data adensamento:		14.07.2018
Data cisalhamento:		15.07.2018
Tensão efetiva de ensaio (kPa):		1000
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)		5
Altura especificada Corpo de prova (cm)		10
Teor de Umidade (meta) (%)		20,0%
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm ³)		0,800
G_{solo}		3,27
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM		
Umidade média (%)		19,27%
Massa CP úmido (g)		207,35
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)		5,010
Altura média Corpo de prova (cm)		9,916
Área Corpo de prova (cm ²)		19,714
Volume Corpo de prova (cm ³)		195,480
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm ³)		1,061
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm ³)		0,889
Peso Solo obtido (g)		172,790
Vol Solo obtido (cm ³)		52,841
Volume vazios obtido (cm ³)		142,639
Grau de compactação (%)		111,17%
Variação teor umidade (%)		-0,73%
Variação diâmetro (mm)		0,010
Variação altura (mm)		-0,084
e após moldagem		2,699
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO		
Volume final após adensamento	cm3	170,625
Diâmetro final após adensamento	cm	5,130
Altura final após adensamento	cm	8,256
e pos consolidação		2,493

Ensaio a 1000 kPa.sem desc			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,000	0,000	1405,183	559,504
0,091	19,268	1402,941	565,915
0,155	40,692	1404,484	573,708
0,193	92,419	1401,930	580,010
0,230	146,902	1403,602	595,328
0,299	115,969	1402,297	590,342
0,308	171,377	1400,032	602,074
0,332	230,721	1400,938	611,765
0,454	274,976	1400,968	625,549
0,506	313,592	1399,205	642,370
0,517	350,039	1397,461	651,390
0,624	379,420	1397,676	669,345
0,691	414,358	1395,062	690,702
0,770	430,769	1396,310	695,502
0,870	460,909	1391,719	710,925
0,928	472,930	1393,895	730,832
0,943	482,923	1392,997	738,704
1,082	505,501	1394,968	754,555
1,115	525,490	1396,013	772,074
1,247	530,678	1394,118	783,635
1,300	541,862	1396,141	799,281
1,398	553,627	1395,689	810,818
1,467	566,146	1396,919	826,943
1,491	577,124	1398,159	835,999
1,620	583,940	1398,119	850,496
1,682	593,588	1396,696	860,559
1,760	603,245	1397,937	875,402
1,830	613,200	1396,928	881,754
1,887	610,845	1400,505	889,450
1,982	626,553	1398,929	903,052
2,079	629,925	1399,746	912,499
2,144	633,211	1397,805	918,703
2,239	633,638	1398,996	920,271
2,314	638,698	1399,109	935,071
2,345	649,708	1397,672	940,554
2,443	647,689	1397,631	945,713
2,573	657,127	1398,519	951,565
2,666	660,733	1397,198	955,224
2,727	658,936	1399,858	960,626
2,787	665,879	1400,011	965,426
2,879	675,588	1399,854	969,578
2,946	670,240	1399,732	976,291
3,023	670,642	1400,223	978,909
3,119	673,908	1398,902	984,494
3,199	685,768	1400,171	988,351
3,278	677,366	1401,939	996,129
3,331	676,734	1400,201	995,704
3,464	675,560	1398,468	999,435

3,552	676,940	1401,092	996,178
3,588	678,078	1401,846	1006,815
3,704	686,017	1402,606	1008,625
3,758	682,167	1401,187	1009,305
3,821	678,877	1401,917	1016,643
3,912	680,470	1400,322	1015,647
3,989	686,443	1400,982	1021,842
4,068	686,218	1402,957	1018,603
4,133	687,961	1403,119	1026,692
4,179	688,046	1401,972	1026,223
4,291	705,150	1403,671	1027,783
4,367	702,811	1402,312	1027,460
4,470	695,749	1402,556	1028,730
4,534	703,352	1402,480	1030,980
4,619	699,407	1399,368	1032,197
4,697	700,094	1403,242	1028,518
4,787	703,920	1403,724	1028,161
4,884	704,963	1402,269	1032,294
4,987	708,148	1402,530	1032,692
5,032	702,384	1402,615	1037,132
5,093	704,196	1402,839	1033,848
5,185	709,565	1402,807	1033,685
5,254	707,431	1402,954	1033,485
5,320	705,496	1403,260	1034,800
5,408	712,840	1404,669	1030,297
5,487	707,213	1404,318	1036,625
5,582	711,278	1404,143	1037,537
5,617	714,797	1402,689	1038,209
5,686	718,314	1402,692	1039,391
5,817	716,301	1402,814	1041,672
5,893	723,800	1403,877	1040,489
5,988	714,659	1402,021	1040,020
6,074	721,104	1402,420	1037,808
6,108	715,917	1402,318	1040,738
6,216	729,131	1403,879	1040,477
6,285	720,036	1401,311	1041,826
6,391	724,032	1403,890	1040,655
6,446	727,644	1404,028	1041,809
6,528	727,942	1402,476	1038,493
6,612	732,551	1404,437	1045,328
6,696	736,680	1402,024	1037,098
6,750	728,565	1402,365	1039,941
6,844	726,214	1401,583	1040,795
6,915	732,467	1404,287	1035,915
6,980	735,625	1404,492	1039,468
7,102	730,947	1402,721	1037,985
7,142	733,108	1403,229	1037,536
7,240	736,267	1402,839	1041,746
7,306	736,355	1403,383	1039,691
7,370	736,781	1402,091	1037,704
7,478	737,634	1403,389	1037,016
7,560	747,554	1402,516	1038,829
7,603	748,042	1402,901	1044,347
7,674	747,183	1403,392	1039,813
7,787	745,419	1402,561	1041,059
7,909	742,264	1403,394	1037,596
7,935	742,723	1403,474	1038,487
8,034	745,001	1396,795	1035,844
8,089	755,509	1401,728	1035,878
8,203	746,696	1403,209	1036,575
8,265	750,546	1403,125	1031,842

8,335	747,282	1402,274	1034,744
8,420	749,986	1401,851	1038,358
8,483	754,538	1402,364	1038,232
8,560	756,195	1397,243	1039,272
8,684	755,604	1402,256	1033,868
8,736	756,975	1402,127	1037,655
8,828	755,265	1401,975	1031,888
8,952	759,331	1402,488	1033,238
8,937	764,380	1396,458	1036,831
9,053	761,904	1399,708	1031,283
9,166	766,780	1401,174	1033,037
9,216	774,615	1398,834	1033,337
9,290	764,858	1400,129	1030,451
9,384	771,667	1400,968	1033,601
9,463	766,724	1401,062	1034,853
9,503	769,244	1398,959	1031,009
9,640	771,960	1396,750	1031,057
9,690	776,111	1400,248	1029,629
9,728	776,353	1400,597	1029,940
9,850	778,678	1398,286	1027,554
9,966	775,231	1400,860	1027,397
10,047	781,487	1400,211	1028,896
10,143	777,185	1400,542	1028,126
10,173	786,025	1399,622	1026,552
10,299	779,314	1398,945	1028,547
10,366	779,979	1399,583	1028,993
10,429	781,821	1399,218	1023,057
10,529	780,550	1397,475	1026,710
10,586	781,804	1398,736	1024,825
10,668	783,162	1398,526	1027,945
10,819	788,012	1398,809	1021,737
10,838	787,659	1399,311	1021,972
10,880	788,374	1397,348	1024,888
10,999	785,220	1397,034	1021,685
11,085	795,961	1398,880	1023,721
11,183	790,172	1397,654	1020,534
11,254	796,583	1397,972	1020,307
11,324	793,266	1397,927	1019,617
11,423	795,855	1396,981	1020,899
11,469	794,495	1397,307	1013,639
11,579	796,419	1395,765	1018,846
11,659	795,532	1397,261	1016,901
11,707	796,048	1398,986	1014,306
11,802	796,271	1399,110	1017,204
11,891	797,535	1400,243	1018,575
12,008	799,827	1398,575	1014,950
12,016	797,652	1398,931	1012,474
12,139	811,128	1397,162	1013,223
12,151	814,187	1395,581	1017,789
12,294	803,250	1397,916	1014,416
12,379	803,383	1399,312	1013,148
12,451	809,986	1397,037	1015,089
12,531	812,604	1398,025	1013,927
12,621	813,083	1399,347	1013,832
12,669	815,032	1398,065	1011,343
12,791	819,146	1397,802	1012,144
12,863	813,783	1398,700	1011,046
12,976	813,515	1397,939	1010,964

12,999	812,135	1400,235	1014,179
13,056	813,551	1399,370	1010,523
13,197	815,348	1399,728	1008,208
13,241	817,129	1400,368	1010,949
13,344	818,841	1400,052	1013,262
13,403	820,792	1398,645	1013,522
13,512	820,744	1399,928	1007,916
13,602	823,955	1400,234	1010,899
13,676	824,822	1398,143	1007,059
13,697	826,975	1398,506	1011,298
13,792	828,617	1399,725	1008,132
13,870	820,691	1399,589	1011,533
13,968	822,602	1400,182	1008,488
14,057	828,329	1397,041	1009,612
14,110	831,302	1399,621	1011,808
14,205	828,954	1399,343	1009,122
14,286	828,368	1397,286	1007,690
14,342	833,888	1398,587	1007,465
14,457	833,456	1399,572	1009,988
14,526	833,048	1399,054	1006,884
14,587	829,580	1396,461	1011,017
14,640	835,070	1398,474	1008,266
14,727	831,526	1399,484	1003,649
14,845	833,426	1400,408	1003,362
14,919	835,458	1400,037	1001,883
14,975	836,742	1399,629	1007,668
15,078	846,172	1401,811	999,804
15,147	838,427	1400,546	1002,431
15,217	846,752	1400,133	1003,729
15,307	850,460	1398,692	1008,783
15,381	844,501	1400,950	1003,336
15,476	838,913	1400,479	1002,682
15,519	839,012	1402,447	1004,871
15,633	843,806	1402,241	1001,995
15,724	846,095	1403,267	1001,606
15,808	845,838	1402,064	1004,319
15,887	848,655	1403,781	1003,526
15,933	850,128	1403,453	1003,958
16,054	841,460	1402,729	1001,931
16,100	849,420	1404,331	1005,086
16,166	840,150	1404,665	1004,619
16,284	839,085	1404,807	1002,133
16,291	840,996	1403,526	999,204
16,392	843,075	1403,133	1001,820
16,510	842,142	1402,921	1001,771
16,589	847,493	1405,210	998,996
16,668	851,533	1403,708	999,584
16,720	859,667	1404,899	1001,865
16,826	853,369	1403,367	1001,037
16,900	851,060	1404,135	1000,485
16,982	851,094	1403,885	1002,948
17,021	854,837	1403,469	995,255
17,109	853,111	1398,766	995,005
17,198	861,203	1401,487	997,109
17,277	851,667	1402,522	998,211
17,391	863,115	1402,390	997,227
17,448	865,966	1400,817	998,239
17,560	858,452	1404,266	1001,960
17,588	865,398	1403,069	993,396
17,640	867,436	1401,606	989,572
17,779	864,395	1403,050	986,365

17,864	865,754	1403,373	991,183
--------	---------	----------	---------

7.8. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 2250 kPa

CÓDIGO CORPO DE PROVA		CP-2250 kPa
Data moldagem:		16.07.2018
Data saturação:		17.07.2018
Data adensamento:		17.07.2018
Data cisalhamento:		20.07.2018
Tensão efetiva de ensaio (kPa):		2250
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)		5
Altura especificada Corpo de prova (cm)		10
Teor de Umidade (meta) (%)		20,0%
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm ³)		0,800
G_{solo}		3,27
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM		
Umidade média (%)		21,28%
Massa CP úmido (g)		207,35
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)		5,011
Altura média Corpo de prova (cm)		10,140
Área Corpo de prova (cm ²)		19,721
Volume Corpo de prova (cm ³)		199,975
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm ³)		1,037
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm ³)		0,855
Peso Solo obtido (g)		172,790
Vol Solo obtido (cm ³)		52,841
Volume vazios obtido (cm ³)		147,134
Grau de compactação (%)		106,87%
Variação teor umidade (%)		1,28%
Variação diâmetro (mm)		0,011
Variação altura (mm)		0,140
e após moldagem		2,784
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO		
Volume final após adensamento	cm ³	174,963
Diâmetro final após adensamento	cm	5,555
Altura final após adensamento	cm	7,219
e pos consolidação		2,696

Ensaio a 2250 kPa			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,000	0,000	2652,030	399,404
0,144	16,170	2653,427	402,178
0,183	53,837	2650,804	409,133
0,294	123,051	2650,509	407,120
0,331	190,668	2649,317	411,448
0,367	251,167	2649,531	415,506
0,450	302,593	2646,660	419,113
0,505	349,317	2644,795	421,162
0,624	401,130	2647,413	431,024
0,639	440,347	2645,530	429,321
0,733	487,638	2641,218	432,882
0,781	514,168	2648,845	445,339
0,848	544,596	2646,734	444,469
0,951	574,373	2641,607	447,546
1,026	606,547	2641,193	456,883
1,120	630,257	2645,033	457,626
1,128	664,632	2639,785	462,560
1,283	687,796	2645,260	473,585
1,355	703,504	2641,879	470,451
1,479	726,924	2646,599	476,169
1,546	745,156	2641,338	478,440
1,592	767,065	2643,493	491,462
1,625	796,203	2641,884	496,773
1,793	807,848	2645,335	503,183
1,855	827,772	2642,703	512,544
1,961	839,102	2641,093	515,099
2,100	853,894	2641,847	525,048
2,192	874,634	2642,301	523,214
2,207	891,518	2642,027	528,605
2,348	907,870	2643,495	541,252
2,392	926,121	2641,491	545,223
2,496	934,341	2640,978	551,120
2,582	948,304	2642,972	555,907
2,648	963,509	2642,588	563,654
2,801	975,385	2649,469	562,762
2,880	996,814	2646,411	576,433
2,913	1002,300	2645,384	587,427
3,038	1014,092	2642,631	593,886
3,199	1025,713	2654,413	599,441
3,195	1041,373	2651,363	607,898
3,258	1049,571	2647,575	611,793
3,383	1070,118	2646,415	624,762
3,496	1076,927	2643,862	626,886
3,563	1087,936	2641,213	637,929
3,710	1098,766	2643,928	638,568
3,711	1105,508	2647,900	650,923
3,809	1126,376	2645,610	656,072
3,932	1138,690	2642,843	664,716
3,990	1149,291	2643,202	674,551
4,065	1159,617	2641,403	681,757
4,232	1163,161	2643,921	692,473
4,286	1169,374	2643,215	693,813

4,364	1183,509	2644,601	707,521
4,447	1193,834	2645,788	707,896
4,566	1215,621	2642,118	721,671
4,611	1215,597	2651,321	724,973
4,756	1222,363	2648,962	733,170
4,761	1236,363	2647,106	738,217
4,887	1249,349	2644,205	743,661
4,995	1258,537	2645,837	748,710
5,057	1272,928	2642,454	758,915
5,157	1275,881	2642,205	764,598
5,297	1280,653	2648,248	773,503
5,422	1286,636	2646,601	775,508
5,446	1292,795	2645,453	784,360
5,478	1306,786	2640,658	784,871
5,576	1324,148	2640,717	798,697
5,711	1328,053	2641,113	804,668
5,771	1332,538	2646,342	816,896
5,874	1342,468	2643,821	815,908
6,019	1338,102	2639,154	821,149
6,094	1352,363	2643,142	828,211
6,202	1360,733	2641,172	834,525
6,265	1383,462	2642,821	841,902
6,373	1382,130	2638,336	842,896
6,391	1390,049	2647,711	851,822
6,467	1403,242	2645,158	854,414
6,622	1416,065	2642,997	864,072
6,679	1426,381	2647,847	864,390
6,802	1443,288	2646,514	875,270
6,882	1449,750	2640,472	881,106
7,022	1450,259	2640,906	887,580
7,023	1460,389	2641,391	890,831
7,177	1462,545	2643,611	897,666
7,268	1474,705	2647,883	900,039
7,346	1487,289	2642,472	903,631
7,419	1487,653	2644,010	913,560
7,510	1495,912	2645,249	919,491
7,544	1506,790	2648,711	927,792
7,677	1506,196	2644,749	927,866
7,807	1518,155	2643,050	934,510
7,895	1526,962	2649,922	938,306
7,960	1539,201	2647,053	943,916
8,023	1536,742	2645,413	946,313
8,143	1542,473	2641,615	952,881
8,190	1552,446	2643,100	956,583
8,352	1561,984	2649,215	960,465
8,468	1567,508	2648,393	965,686
8,459	1586,244	2646,322	972,891
8,628	1582,740	2642,891	976,965
8,687	1583,449	2641,284	972,481
8,712	1594,068	2643,249	982,470
8,956	1598,701	2640,859	988,440
8,937	1610,212	2648,444	984,091
9,041	1619,097	2647,398	995,347
9,120	1622,585	2642,727	999,916
9,240	1622,405	2641,817	1001,574
9,306	1631,808	2641,328	1005,992
9,400	1634,099	2647,774	1011,615
9,476	1648,686	2645,488	1007,913
9,570	1654,117	2643,595	1009,362
9,691	1668,773	2651,296	1020,903
9,789	1666,473	2648,073	1020,200

9,804	1670,148	2644,447	1022,008
9,935	1675,884	2643,885	1027,013
10,016	1684,998	2645,599	1034,978
10,019	1691,695	2641,924	1029,348
10,179	1704,585	2641,689	1032,483
10,244	1704,524	2645,018	1035,883
10,377	1708,304	2642,713	1042,912
10,466	1717,540	2639,581	1042,864
10,570	1721,015	2641,877	1046,336
10,586	1729,233	2644,558	1044,440
10,733	1743,478	2639,760	1049,258
10,785	1744,889	2645,613	1051,278
10,881	1744,489	2646,436	1057,187
11,078	1749,436	2644,233	1062,834
11,103	1747,578	2641,069	1059,677
11,135	1762,344	2643,174	1068,316
11,192	1768,841	2639,739	1066,905
11,377	1775,858	2642,342	1072,638
11,448	1781,718	2647,566	1069,561
11,524	1778,040	2644,986	1078,651
11,663	1776,128	2641,312	1076,825
11,735	1791,434	2649,883	1081,034
11,773	1795,587	2647,926	1085,540
11,880	1810,894	2645,435	1088,580
11,973	1810,589	2640,146	1087,332
12,027	1808,428	2650,032	1088,080
12,128	1809,686	2650,129	1091,546
12,267	1821,489	2649,064	1096,541
12,316	1825,417	2645,616	1092,111
12,495	1839,224	2650,092	1098,191
12,537	1846,637	2647,109	1092,009
12,633	1844,278	2647,976	1100,914
12,653	1858,522	2645,691	1099,891
12,799	1849,869	2643,588	1105,450
12,885	1861,359	2644,480	1113,130
13,031	1865,727	2643,504	1109,441
13,084	1877,110	2641,084	1111,646
13,114	1876,166	2641,711	1110,087
13,263	1884,785	2642,763	1115,101
13,356	1875,432	2647,767	1115,242
13,435	1888,148	2646,346	1109,962
13,541	1891,508	2644,715	1112,372
13,698	1904,069	2642,661	1116,506
13,696	1905,849	2642,785	1120,924
13,781	1915,838	2641,500	1123,662
13,900	1910,634	2645,642	1124,933
13,990	1916,683	2648,232	1121,792
14,047	1922,116	2645,866	1120,215
14,226	1936,276	2646,011	1127,089
14,196	1940,456	2643,958	1128,267
14,286	1937,322	2645,150	1129,445
14,367	1945,731	2643,817	1130,084
14,533	1945,270	2641,343	1135,992
14,575	1951,498	2643,205	1123,308
14,582	1964,650	2642,462	1123,861
14,755	1968,534	2643,696	1130,457
14,787	1968,377	2641,501	1131,591
14,948	1970,690	2645,385	1135,009

15,053	1966,325	2643,750	1137,455
15,149	1980,940	2640,820	1136,746
15,146	1981,766	2648,153	1138,929
15,312	1996,314	2646,075	1136,772
15,389	1998,270	2644,882	1135,395
15,405	1998,464	2643,976	1137,788
15,625	2002,799	2650,132	1144,595
15,655	2014,408	2648,491	1141,225
15,689	2012,692	2646,766	1149,789
15,805	2026,386	2645,793	1139,610
15,980	2032,475	2646,189	1142,104
15,955	2033,793	2644,329	1141,758
16,030	2038,254	2640,696	1138,992
16,083	2039,849	2647,687	1140,573
16,182	2043,937	2644,150	1142,484
16,358	2054,627	2650,367	1144,022
16,406	2067,875	2648,122	1139,736
16,512	2064,925	2643,685	1143,305
16,615	2065,522	2642,762	1142,743
16,630	2064,411	2644,529	1141,436
16,695	2074,789	2644,910	1136,841
16,874	2076,627	2643,281	1137,353
16,893	2088,770	2648,899	1141,630
17,043	2044,526	2646,332	1135,764
17,061	1915,036	2647,026	1122,815
17,016	1838,785	2644,538	1111,498
17,059	1778,221	2639,671	1104,239
17,096	1724,850	2644,328	1093,800
17,125	1674,592	2644,974	1080,918
17,153	1639,878	2643,162	1081,046
17,076	1601,119	2652,207	1070,341
17,062	1569,510	2649,598	1060,271
17,106	1542,288	2645,962	3029,511
17,114	1515,591	2641,680	3035,437
17,133	1484,545	2651,990	3044,931
17,113	1465,825	2648,701	3035,930
17,144	1443,555	2645,438	3034,789
17,138	1420,670	2641,688	3028,430
17,131	1400,047	2645,408	3029,924
17,149	1380,721	2647,363	3028,183
17,183	1364,499	2642,417	3044,952
17,161	1346,159	2649,502	3040,441
17,188	1331,902	2645,892	3038,400
17,186	1317,404	2648,634	3036,804
17,193	1296,661	2645,493	3032,178
17,216	1281,234	2644,264	3032,963
17,221	1266,404	2642,848	3038,843
17,198	1251,891	2644,257	3029,723
17,199	1240,642	2641,304	3044,309
17,194	1229,727	2641,459	3035,701
17,209	1214,855	2647,132	3035,086
17,199	1208,140	2646,814	3031,157
17,204	1197,060	2647,065	3025,184
17,183	1183,274	2643,208	3026,792
17,168	1171,754	2646,582	3030,424
17,170	1159,835	2642,254	3028,141
17,157	1151,932	2641,930	3023,089
17,176	1141,184	2646,032	3041,913
17,193	1129,249	2646,915	3043,001
17,201	1120,018	2645,450	3025,627
17,205	1112,186	2643,926	3029,231

17,215	1107,217	2642,484	3026,665
17,239	1096,606	2642,649	3036,145
17,248	1089,824	2646,845	3030,204
17,234	1077,609	2643,345	3033,609
17,237	1070,598	2651,227	3040,840
17,237	1066,423	2647,005	3026,105
17,232	1052,717	2645,302	3035,084
17,209	1047,382	2643,644	3032,472
17,213	1039,507	2642,036	3017,603
17,215	1036,924	2648,492	3032,540
17,226	1026,659	2645,980	3021,214
17,232	1017,177	2645,223	3022,875
17,212	1010,417	2644,875	3022,318
17,224	1007,389	2643,274	3024,334
17,208	998,183	2648,830	3026,545
17,229	993,968	2647,218	3036,652
17,222	984,141	2645,721	3028,536
17,211	981,012	2645,449	3027,272
17,214	973,229	2643,957	3028,766
17,196	964,597	2644,239	3029,021
17,220	958,237	2645,725	3029,974
17,206	955,626	2643,951	3023,108
17,217	950,085	2642,353	3018,903
17,241	944,466	2650,248	3034,508
17,263	936,043	2648,187	3028,169
17,279	933,442	2646,748	3019,673
17,272	930,184	2645,386	3020,601
17,286	924,409	2642,897	3030,786
17,284	919,079	2644,982	3024,394
17,283	910,924	2644,195	3037,706
17,278	908,365	2643,761	3015,708
17,285	902,808	2642,963	3016,177
17,264	898,679	2647,750	3023,140
17,274	890,384	2644,659	3012,709
17,271	888,929	2644,653	3026,184
17,252	883,252	2642,731	3015,363
17,262	876,805	2645,912	3019,409
17,267	875,853	2645,016	3025,003
17,267	871,429	2649,478	3014,293
17,280	864,026	2647,935	3029,021
17,269	857,525	2644,221	3012,352
17,262	857,236	2644,652	3016,074
17,262	847,779	2650,639	3012,314
17,278	844,388	2647,567	3020,676
17,288	845,477	2647,187	3015,562
17,279	842,969	2645,263	3023,981
17,281	834,719	2641,153	3015,539
17,277	833,339	2641,675	3026,348
17,314	830,413	2645,298	3019,443
17,307	824,719	2643,912	3017,595
17,343	818,378	2649,816	3007,473
17,332	814,825	2647,127	3020,100
17,319	815,303	2649,380	3008,907

7.9. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 1000 kPa com novo pistão

CÓDIGO CORPO DE PROVA		CP-1000 kPa- novo pistao
Data moldagem:		01.12.2018
Data saturação:		03.12.2018
Data adensamento:		03.12.2018
Data cisalhamento:		04.12.2018
Tensão efetiva de ensaio (kPa):		1000
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)		5
Altura especificada Corpo de prova (cm)		10
Teor de Umidade (meta) (%)		20,0%
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm ³)		0,800
G_{solo}		3,27
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM		
Umidade média (%)		19,01%
Massa CP úmido (g)		188,38
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)		5,033
Altura média Corpo de prova (cm)		10,079
Área Corpo de prova (cm ²)		19,895
Volume Corpo de prova (cm ³)		200,522
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm ³)		0,939
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm ³)		0,789
Peso Solo obtido (g)		158,289
Vol Solo obtido (cm ³)		48,406
Volume vazios obtido (cm ³)		152,115
Grau de compactação (%)		98,67%
Variação teor umidade (%)		-0,99%
Variação diâmetro (mm)		0,033
Variação altura (mm)		0,079
e após moldagem		3,142
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO		
Volume final após adensamento	cm3	162,942
Diâmetro final após adensamento	cm	5,033
Altura final após adensamento	cm	8,189
e pos consolidação		2,554

Ensaio a 1000 kPa.novo pistao			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,000	0,000	1404,956	489,825
0,077	25,562	1402,280	491,865
0,143	40,971	1402,672	497,245
0,192	78,189	1405,134	503,747
0,277	128,538	1405,633	513,695
0,331	163,235	1405,619	523,112
0,371	210,499	1406,067	532,386
0,444	243,313	1406,071	537,895
0,519	270,259	1404,196	548,615
0,613	298,022	1402,501	557,402
0,663	323,298	1405,507	561,863
0,705	351,438	1405,789	568,596
0,772	370,701	1405,673	578,121
0,869	407,663	1404,887	581,688
0,946	413,090	1404,337	592,535
0,969	427,752	1403,881	601,028
1,078	446,494	1405,756	607,491
1,117	451,739	1404,266	614,378
1,202	466,054	1405,668	621,563
1,242	477,325	1403,850	626,020
1,311	490,223	1405,074	636,130
1,441	505,579	1404,857	640,436
1,482	519,640	1405,146	645,982
1,553	527,131	1405,720	655,711
1,622	551,778	1403,955	659,784
1,705	565,469	1405,988	669,243
1,767	578,833	1404,624	673,230
1,855	597,786	1405,025	682,942
1,905	612,920	1403,846	689,014
1,987	617,485	1406,165	691,712
2,019	623,739	1403,065	701,553
2,125	643,565	1405,219	710,189
2,182	646,948	1403,409	716,388
2,266	669,300	1405,764	722,242
2,322	672,347	1404,147	730,690
2,397	670,625	1398,932	737,406
2,449	680,053	1405,158	744,387
2,542	683,584	1404,735	749,566

2,616	694,027	1403,776	758,021
2,679	692,561	1405,309	765,846
2,783	714,820	1405,981	773,679
2,876	716,965	1405,436	778,575
2,921	745,754	1405,714	789,337
2,998	768,821	1404,022	793,311
3,079	789,114	1404,227	801,518
3,133	802,139	1406,637	805,896
3,238	809,133	1403,042	813,253
3,299	787,855	1403,786	819,681
3,398	780,233	1404,493	828,895
3,467	772,808	1404,776	830,689
3,544	774,204	1404,164	839,389
3,606	775,074	1403,423	843,806
3,668	765,893	1403,460	851,696
3,778	757,305	1405,107	858,582
3,850	752,929	1401,191	865,517
3,942	740,853	1404,306	869,973
4,021	756,386	1405,476	874,460
4,107	772,243	1405,878	880,763
4,184	782,279	1405,384	889,281
4,239	777,623	1403,143	896,004
4,339	768,994	1404,201	896,048
4,420	770,461	1405,876	905,857
4,494	776,518	1406,579	908,375
4,602	776,790	1403,849	914,707
4,668	774,789	1401,330	920,695
4,735	773,334	1406,310	921,822
4,827	779,573	1402,776	924,208
4,899	788,528	1404,741	934,308
4,949	786,070	1405,480	936,790
5,050	785,520	1405,055	943,552
5,116	793,242	1403,892	943,678
5,204	798,487	1406,219	947,695
5,307	804,251	1405,483	955,008
5,372	806,156	1404,679	961,945
5,444	803,379	1405,336	964,121
5,549	802,425	1404,705	965,997
5,650	797,787	1404,889	971,030
5,695	794,046	1404,716	975,237
5,797	784,600	1405,463	978,288
5,880	779,928	1405,548	981,337
5,942	770,572	1405,959	984,794
6,032	772,237	1405,800	987,930
6,114	767,765	1406,119	989,186
6,174	768,661	1405,008	993,414
6,217	769,120	1406,283	997,159
6,313	759,316	1403,270	997,801

6,416	751,415	1403,665	1001,393
6,539	747,192	1406,305	1004,807
6,595	740,211	1406,281	1007,230
6,659	745,757	1404,814	1008,559
6,744	754,130	1405,080	1011,902
6,860	767,614	1404,959	1013,294
6,930	776,645	1405,006	1016,483
7,019	787,323	1405,637	1019,729
7,082	784,380	1405,019	1023,257
7,162	776,570	1404,333	1024,424
7,267	776,608	1404,453	1025,095
7,338	781,023	1405,851	1026,372
7,456	779,569	1406,478	1025,634
7,536	783,738	1405,984	1026,181
7,618	783,960	1404,260	1029,191
7,666	779,379	1402,936	1029,640
7,782	782,379	1404,414	1026,257
7,853	777,519	1403,943	1031,390
7,970	776,869	1403,932	1032,234
8,047	773,763	1405,789	1033,800
8,120	770,745	1404,402	1033,568
8,171	772,412	1404,768	1035,438
8,257	771,472	1404,087	1034,614
8,388	771,770	1403,675	1034,981
8,410	766,744	1406,574	1036,500
8,526	763,124	1406,019	1039,673
8,602	754,268	1406,297	1037,398
8,679	757,867	1402,342	1041,567
8,747	754,124	1405,979	1042,599
8,867	750,824	1405,543	1045,362
8,922	742,639	1405,482	1047,015
9,026	739,621	1405,355	1049,911
9,079	739,158	1405,677	1051,378
9,091	735,280	1405,310	1052,812
9,223	731,005	1405,759	1054,867
9,322	733,187	1405,046	1051,758
9,383	750,019	1405,757	1052,556
9,446	742,285	1406,139	1056,151
9,566	749,101	1405,269	1055,070
9,638	746,399	1405,370	1054,359
9,667	744,628	1405,732	1053,428
9,759	737,534	1404,112	1053,821
9,811	740,410	1406,087	1054,766
9,925	740,065	1405,738	1053,640
10,003	734,456	1406,195	1055,138

10,124	742,480	1405,492	1053,725
10,197	741,418	1405,644	1054,496
10,240	751,523	1406,430	1055,264
10,331	754,128	1406,672	1054,732
10,401	756,745	1405,160	1054,063
10,504	760,675	1405,942	1054,464
10,552	773,729	1405,839	1055,028
10,650	769,398	1405,178	1055,732
10,704	778,971	1404,474	1052,949
10,831	787,984	1404,414	1055,775
10,901	789,592	1404,093	1054,974
11,001	781,713	1402,894	1052,373
11,073	786,585	1405,059	1052,415
11,143	786,154	1405,838	1052,900
11,219	795,978	1406,051	1055,639
11,320	776,869	1405,842	1050,266
11,386	759,938	1405,925	1051,475
11,471	739,971	1406,025	1050,860
11,559	727,065	1406,010	1050,138
11,657	723,228	1404,277	1046,369
11,729	722,775	1405,334	1048,698
11,807	726,721	1405,518	1046,289
11,877	713,876	1405,141	1047,600
11,939	707,548	1405,203	1047,632
11,994	706,030	1405,701	1047,551
12,080	707,238	1404,920	1049,737
12,197	715,508	1405,581	1047,480
12,236	714,042	1405,723	1045,897
12,358	719,861	1404,764	1045,767
12,411	721,043	1405,264	1042,140
12,495	703,676	1405,012	1044,666
12,628	697,529	1406,477	1042,847
12,661	700,301	1404,285	1040,370
12,734	697,499	1406,455	1040,411
12,836	693,993	1404,421	1042,451
12,910	689,732	1405,262	1040,265
13,019	695,712	1405,642	1039,627
13,072	679,807	1405,899	1039,140
13,160	663,300	1405,496	1039,751
13,246	671,000	1405,461	1037,184
13,281	658,088	1405,181	1037,743
13,366	647,354	1403,144	1034,082
13,446	644,022	1405,966	1035,944
13,541	652,125	1405,939	1034,270
13,610	641,396	1404,602	1030,825
13,703	634,929	1405,291	1034,188
13,764	628,527	1405,217	1030,207
13,858	621,076	1405,946	1033,268

13,958	611,676	1405,616	1033,756
14,020	603,267	1405,986	1033,756
14,082	593,985	1406,086	1033,657
14,160	596,108	1405,436	1033,608
14,255	586,805	1403,123	1037,810
14,342	584,011	1403,144	1040,233
14,429	575,154	1404,705	1041,708
14,490	565,260	1404,456	1041,600
14,581	546,173	1404,345	1044,250
14,681	546,476	1405,751	1045,937
14,743	544,934	1402,524	1046,157
14,828	539,774	1404,278	1046,819
14,894	530,429	1406,286	1046,130
14,969	515,435	1405,730	1047,204
15,066	510,293	1402,714	1048,437
15,175	503,251	1404,986	1049,332
15,247	489,753	1404,492	1050,608
15,298	485,316	1404,359	1050,481
15,371	479,367	1405,788	1049,142
15,489	472,842	1402,887	1052,664
15,567	477,799	1400,518	1051,831
15,625	466,962	1403,996	1052,333
15,713	470,886	1404,924	1054,433
15,793	472,776	1404,713	1053,131
15,854	465,015	1406,303	1054,543
15,917	465,829	1405,186	1053,243
16,039	455,592	1405,773	1055,559
16,111	453,574	1403,955	1057,158
16,211	460,177	1404,387	1056,800
16,287	451,573	1403,898	1056,823
16,350	452,301	1402,933	1057,073
16,472	452,283	1404,686	1057,632
16,545	443,072	1405,715	1058,359
16,630	451,794	1400,877	1059,219
16,713	447,233	1405,988	1059,727
16,756	440,715	1405,383	1059,530
16,841	436,179	1404,886	1056,825
16,898	427,898	1395,123	1059,398
16,996	431,930	1403,913	1059,854
17,101	419,341	1404,945	1059,713
17,172	412,764	1403,224	1060,511
17,238	416,667	1405,053	1062,066
17,321	412,336	1405,947	1060,759
17,405	416,409	1404,086	1061,262
17,482	421,099	1401,329	1062,015

17,583	424,480	1403,693	1061,963
17,649	419,223	1403,212	1060,522
17,721	413,269	1404,100	1057,635
17,827	424,180	1405,621	1063,034
17,865	418,847	1403,994	1062,941
17,996	425,104	1403,894	1061,066
18,070	423,298	1404,503	1059,923
18,164	421,762	1404,051	1060,654
18,253	422,615	1404,205	1064,198
18,334	422,452	1405,488	1055,199
18,363	416,022	1404,523	1063,411
18,482	410,530	1405,967	1062,613
18,572	421,670	1406,389	1061,009
18,598	411,853	1406,198	1062,504
18,686	414,011	1404,695	1064,049
18,806	414,165	1406,334	1059,980
18,867	414,331	1405,389	1062,239
18,981	403,590	1405,620	1061,843
19,052	406,456	1406,024	1062,757
19,156	409,869	1405,645	1056,485
19,214	398,759	1406,431	1062,950
19,304	407,285	1405,886	1063,314
19,417	405,220	1403,261	1061,791
19,458	408,653	1405,370	1063,088
19,541	411,607	1402,172	1063,386
19,647	411,178	1405,692	1060,819
19,717	412,137	1405,180	1062,089
19,813	402,694	1403,262	1062,134
19,871	402,515	1403,008	1062,225
19,965	398,228	1405,140	1058,051
20,035	405,199	1405,633	1059,884
20,127	407,841	1405,270	1057,910
20,190	393,426	1403,478	1060,362
20,315	393,591	1402,928	1056,521
20,385	383,055	1404,349	1054,109
20,440	382,804	1406,077	1056,382
20,534	379,160	1400,681	1060,225
20,649	374,453	1405,759	1061,347
20,717	374,552	1403,957	1059,087
20,786	375,131	1406,130	1056,672
20,830	374,123	1403,830	1058,595
20,970	370,129	1405,608	1059,657
21,056	374,293	1401,745	1057,689
21,117	372,508	1405,923	1055,457
21,237	374,594	1404,680	1057,845
21,280	373,437	1404,445	1055,944
21,354	370,381	1402,356	1059,387
21,473	373,298	1405,784	1059,694

21,539	373,883	1406,395	1057,656
21,635	368,031	1404,118	1058,597
21,697	365,620	1404,811	1058,924
21,776	355,464	1404,770	1056,652
21,873	357,778	1405,474	1055,076
21,991	361,347	1403,880	1055,311
22,032	356,303	1405,089	1056,113
22,106	360,650	1405,599	1055,691
22,159	349,632	1402,995	1054,921
22,279	356,257	1403,982	1056,140
22,365	357,692	1404,080	1055,339
22,431	362,210	1405,804	1054,658
22,548	367,264	1403,689	1054,323
22,634	380,130	1405,599	1053,067
22,657	363,513	1403,184	1052,945
22,768	361,474	1404,319	1055,049
22,827	357,039	1400,744	1052,696
22,916	356,702	1401,961	1052,684
22,980	353,875	1402,977	1053,026
23,079	350,220	1404,636	1051,482
23,142	340,523	1404,808	1052,849
23,224	345,414	1401,960	1051,885
23,301	339,341	1402,573	1050,190
23,405	340,505	1400,394	1050,538
23,485	346,466	1402,126	1048,554
23,526	347,188	1401,929	1048,844
23,619	355,371	1403,418	1045,569
23,716	350,161	1402,638	1050,654
23,855	351,163	1401,442	1050,864
23,849	353,372	1402,341	1050,823
23,951	354,321	1402,903	1047,373
24,024	353,451	1399,713	1047,130
24,139	354,086	1402,229	1047,111
24,246	356,308	1402,124	1048,414
24,310	359,326	1401,994	1046,772
24,335	356,343	1400,615	1047,286
24,501	358,184	1402,540	1047,396
24,543	356,128	1400,766	1048,319
24,631	357,510	1400,162	1047,478
24,701	360,904	1400,222	1046,998
24,808	362,630	1401,396	1045,480
24,882	353,474	1403,459	1048,412
24,958	356,201	1402,844	1046,174
25,005	353,685	1403,249	1044,537
25,107	352,334	1403,948	1046,160

25,196	342,710	1402,937	1045,069
25,280	354,998	1403,481	1046,145
25,371	351,188	1403,066	1045,811
25,429	354,717	1402,500	1043,686
25,515	352,068	1402,818	1046,058
25,572	353,482	1401,571	1046,423
25,625	347,845	1402,065	1044,444
25,745	354,720	1401,350	1047,170
25,819	350,856	1403,104	1046,447
25,920	353,601	1402,621	1047,710
25,985	352,058	1404,184	1044,343
26,008	359,056	1404,571	1044,125
26,115	353,237	1402,923	1045,357
26,189	348,800	1404,261	1044,123
26,239	355,355	1404,082	1044,481
26,368	360,201	1404,652	1043,978
26,438	363,299	1404,351	1045,150
26,486	366,838	1403,227	1045,257
26,587	365,850	1405,915	1046,243
26,689	367,179	1401,714	1044,310
26,761	352,954	1403,288	1044,800
26,834	359,641	1404,899	1044,961
26,920	357,367	1403,551	1045,579
27,045	358,043	1404,779	1045,404
27,093	362,444	1404,447	1044,638
27,200	351,894	1403,569	1043,138
27,278	352,214	1403,873	1041,105
27,355	347,912	1401,703	1041,284
27,390	344,351	1403,228	1042,756
27,476	347,322	1404,939	1041,400
27,602	348,152	1405,328	1040,704
27,686	353,778	1403,005	1042,376
27,743	358,058	1403,064	1040,692
27,800	359,477	1402,743	1038,690
27,896	356,764	1405,397	1035,980
27,947	359,367	1406,045	1042,634
28,074	363,592	1404,883	1042,024
28,114	359,163	1402,717	1040,002
28,211	353,991	1403,582	1041,054
28,270	349,505	1401,362	1039,540
28,369	349,148	1405,270	1036,146
28,445	345,137	1405,281	1042,745
28,508	345,039	1404,628	1037,772
28,580	345,078	1404,919	1037,617
28,704	345,955	1404,338	1040,866
28,814	339,922	1402,707	1039,468
28,860	348,573	1405,341	1038,307
28,915	342,466	1405,143	1038,537

28,987	337,361	1401,352	1039,368
29,079	341,828	1403,910	1039,665
29,206	340,717	1402,070	1038,974
29,273	345,405	1405,306	1039,071
29,336	335,739	1404,041	1037,900
29,425	343,470	1404,690	1036,286
29,492	335,246	1406,073	1037,974
29,593	335,363	1404,083	1038,001
29,660	340,275	1405,253	1038,950
29,733	345,520	1403,990	1038,678
29,862	342,835	1402,938	1036,731
29,896	346,505	1404,987	1035,474
30,004	346,471	1403,509	1037,720
30,103	345,148	1404,742	1035,036
30,199	339,149	1403,891	1036,344
30,251	340,475	1404,917	1034,279
30,317	350,747	1404,334	1032,991
30,388	352,087	1404,325	1034,416
30,446	352,608	1404,713	1034,603
30,580	350,168	1404,096	1032,179
30,629	344,520	1402,149	1030,444
30,692	347,745	1404,865	1032,727
30,813	349,234	1402,559	1034,242
30,866	348,854	1404,277	1031,921
30,974	343,426	1400,777	1031,405
31,039	339,668	1400,000	1029,488
31,133	339,025	1399,514	1028,031
31,256	342,702	1397,999	1023,806
31,271	346,365	1399,075	1028,205
31,387	345,562	1399,220	1028,365
31,454	351,825	1396,907	1028,698
31,551	346,288	1398,812	1027,120
31,629	327,232	1398,901	1026,144
31,735	328,560	1398,933	1028,131
31,790	316,608	1399,191	1027,883
31,903	310,056	1396,703	1027,033
31,988	305,363	1398,352	1024,077
32,024	299,769	1398,412	1025,054
32,113	304,003	1397,827	1024,081
32,222	307,150	1395,639	1024,066
32,279	309,312	1399,733	1022,875
32,341	307,742	1399,479	1021,992
32,471	303,745	1397,267	1022,331
32,504	301,634	1398,148	1020,716
32,587	304,440	1397,149	1023,102

32,679	301,771	1398,623	1021,206
32,712	298,908	1398,102	1021,227
32,807	306,930	1397,490	1018,338
32,952	310,149	1398,238	1020,390
33,004	302,538	1398,514	1019,372
33,101	310,015	1400,531	1021,810
33,180	312,184	1398,970	1020,462
33,297	309,842	1398,385	1018,029
33,333	311,650	1399,156	1018,849
33,432	310,998	1400,197	1017,626
33,500	310,703	1398,459	1017,638
33,631	308,906	1393,599	1018,218
33,673	314,342	1398,151	1017,303
33,753	312,929	1397,365	1014,043
33,865	308,039	1397,392	1015,867
33,955	305,857	1396,267	1015,302
34,031	302,500	1395,088	1013,200
34,064	296,383	1397,153	1015,427
34,155	293,209	1395,772	1014,891
34,283	294,350	1396,302	1013,371
34,350	287,943	1395,567	1012,768
34,439	293,198	1396,861	1012,938
34,566	299,227	1397,266	1013,414
34,602	292,083	1397,606	1012,096
34,684	288,039	1397,779	1013,218
34,775	281,570	1397,184	1010,931
34,910	278,708	1392,589	1011,742
34,918	278,801	1393,546	1007,989
35,047	285,651	1396,681	1008,451
35,090	273,466	1397,870	1009,069
35,176	273,265	1398,101	1011,036
35,276	275,772	1395,401	1004,201
35,367	267,967	1396,063	1010,086
35,446	270,564	1397,296	1008,323
35,505	269,435	1397,703	1012,008
35,613	264,908	1398,586	1007,072
35,670	267,634	1398,705	1006,953
35,794	274,194	1398,800	1008,612
35,817	280,090	1398,420	1009,057
35,902	280,798	1396,609	1009,819
36,023	275,042	1399,111	1008,125
36,138	272,462	1399,218	1005,731
36,136	269,188	1397,591	1005,802
36,268	270,018	1398,715	1005,212
36,315	271,279	1398,604	1005,149
36,396	271,358	1397,970	1007,257
36,510	271,172	1398,990	1006,475
36,546	273,299	1399,352	1006,887

36,710	272,305	1397,355	1006,602
36,698	276,364	1397,943	1004,435
36,810	278,088	1399,032	1005,972
36,895	275,127	1398,807	1004,752
37,001	272,820	1398,366	1005,204

CÓDIGO CORPO DE PROVA	CP-2500 kPa.novo pistao
Data moldagem:	12.12.2018
Data saturação:	13.12.2018
Data adensamento:	13.12.2018
Data cisalhamento:	14.12.2018
Tensão efetiva de ensaio (kPa):	2500
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)	5
Altura especificada Corpo de prova (cm)	10
Teor de Umidade (meta) (%)	20,0%
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm³)	0,800
G_{solo}	3,27
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM	
Umidade média (%)	20,46%
Massa CP úmido (g)	188,28
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)	5,017
Altura média Corpo de prova (cm)	9,774
Área Corpo de prova (cm²)	19,769
Volume Corpo de prova (cm³)	193,219
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm³)	0,974
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm³)	0,809
Peso Solo obtido (g)	156,301
Vol Solo obtido (cm³)	47,798
Volume vazios obtido (cm³)	145,421
Grau de compactação (%)	101,12%
Variação teor umidade (%)	0,46%
Variação diâmetro (mm)	0,017
Variação altura (mm)	-0,226
e após moldagem	3,042
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO	

Volume final após adensamento	cm ³	146,920
Diâmetro final após adensamento	cm	5,059
Altura final após adensamento	cm	7,308
e pos consolidação		2,306

Ensaio a 2500 kPa - novo pistao			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,000	0,000	2903,462	446,672
0,095	190,237	2904,239	448,040
0,160	206,304	2902,210	450,768
0,244	224,900	2900,825	447,166
0,344	240,808	2902,194	447,884
0,460	261,627	2894,972	453,386
0,532	283,856	2895,914	454,216
0,570	303,654	2893,280	450,645
0,580	336,817	2894,841	455,985
0,697	364,039	2899,756	455,127
0,709	388,919	2898,603	455,341
0,774	405,051	2898,454	457,092
0,896	427,611	2898,691	457,040
0,944	452,645	2897,852	459,420
1,024	473,695	2896,602	462,147
1,045	506,026	2896,460	463,160
1,102	535,078	2898,184	461,143
1,146	574,616	2896,033	463,608

1,255	603,655	2903,143	466,396
1,300	634,431	2902,749	466,875
1,346	657,270	2900,561	467,356
1,443	687,448	2901,199	466,578
1,488	717,876	2901,217	467,607
1,570	754,280	2899,343	468,526
1,660	763,915	2899,127	460,933
1,733	780,493	2894,715	458,855
1,815	793,351	2897,505	463,957
1,897	830,308	2896,993	464,506
1,953	859,927	2897,662	467,984
2,051	893,084	2898,088	467,001
2,128	917,681	2894,368	475,091
2,173	938,341	2894,616	476,219
2,262	958,162	2897,314	479,563
2,366	985,086	2896,133	481,273
2,448	1019,020	2896,175	480,885
2,498	1052,559	2893,731	483,473
2,593	1082,532	2895,081	486,745
2,628	1105,407	2893,189	487,604
2,717	1137,385	2895,850	491,522
2,776	1163,897	2893,464	494,252
2,851	1193,738	2893,664	493,663
2,948	1233,345	2895,335	497,516
3,009	1269,162	2895,888	500,959
3,087	1297,169	2899,483	501,943
3,170	1325,488	2898,742	502,909
3,232	1355,720	2893,859	505,129
3,322	1396,443	2900,462	508,506

3,393	1422,077	2898,731	511,079
3,504	1471,542	2901,432	515,432
3,555	1496,777	2898,922	517,818
3,639	1515,447	2896,479	521,254
3,717	1534,629	2899,661	524,264
3,790	1574,088	2897,352	527,392
3,875	1592,447	2897,617	529,773
3,965	1626,806	2898,896	533,734
4,031	1642,564	2894,065	537,545
4,124	1656,799	2900,780	539,169
4,202	1676,371	2898,931	543,298
4,270	1681,173	2897,908	547,584
4,351	1709,351	2897,391	547,364
4,425	1732,779	2892,833	555,375
4,554	1749,365	2895,425	560,104
4,624	1759,805	2895,296	566,640
4,723	1781,821	2894,019	571,249
4,783	1792,037	2897,646	577,568
4,844	1815,814	2900,115	584,916
4,958	1841,298	2897,736	593,348
5,061	1859,760	2895,924	597,896
5,108	1882,018	2894,964	605,347
5,180	1886,893	2898,530	613,400
5,273	1902,788	2895,905	621,861
5,392	1921,655	2895,618	630,327
5,481	1937,622	2894,043	642,128
5,553	1966,700	2895,929	653,472

5,611	1973,771	2894,916	660,453
5,741	1983,173	2895,392	673,206
5,816	1994,867	2897,420	684,876
5,895	2001,949	2894,996	694,164
6,005	2011,598	2896,211	708,559
6,060	2033,032	2898,190	720,535
6,156	2038,669	2893,946	731,603
6,224	2049,346	2892,127	744,036
6,330	2055,044	2897,284	757,617
6,413	2061,153	2896,081	771,041
6,518	2079,133	2898,491	785,772
6,595	2102,343	2896,964	800,603
6,668	2116,563	2895,056	809,334
6,767	2120,489	2895,707	823,527
6,878	2131,059	2896,458	831,211
6,912	2135,899	2902,775	846,073
7,005	2151,234	2897,738	859,607
7,091	2168,188	2893,794	875,546
7,210	2190,731	2894,799	889,337
7,308	2189,560	2898,893	904,432
7,393	2189,950	2898,131	919,789
7,476	2189,258	2895,679	936,091
7,524	2191,605	2896,944	950,848
7,625	2204,982	2895,002	963,990
7,739	2216,887	2895,379	980,110
7,802	2227,566	2893,957	990,686
7,906	2232,995	2896,017	1007,566
7,993	2243,519	2896,854	1026,375
8,085	2242,058	2890,925	1049,204

8,176	2257,198	2897,156	1068,743
8,256	2267,721	2891,836	1080,885
8,327	2268,911	2897,688	1097,608
8,414	2278,461	2901,463	1115,224
8,527	2280,408	2890,836	1130,253
8,601	2272,963	2893,963	1143,295
8,701	2281,289	2895,179	1163,924
8,823	2287,865	2899,187	1180,150
8,909	2298,311	2897,221	1196,467
8,987	2298,490	2893,231	1212,006
9,087	2289,998	2894,152	1228,377
9,156	2288,042	2895,737	1238,070
9,278	2289,324	2901,272	1258,569
9,374	2287,448	2898,223	1275,512
9,454	2304,171	2897,024	1293,227
9,495	2298,338	2891,717	1307,581
9,657	2293,108	2895,594	1321,626
9,748	2293,787	2896,556	1340,864
9,834	2274,592	2894,650	1354,975
9,891	2274,651	2894,182	1373,481
10,036	2272,321	2893,960	1386,024
10,090	2270,857	2895,047	1399,324
10,203	2267,693	2894,788	1413,666
10,274	2269,201	2894,653	1442,108
10,373	2257,896	2898,593	1471,088
10,470	2268,350	2901,593	1492,705
10,571	2266,862	2899,468	1513,636

10,673	2277,324	2897,309	1533,051
10,789	2277,489	2895,395	1552,062
10,848	2268,050	2894,242	1567,409
10,941	2260,804	2899,395	1584,979
11,056	2261,839	2896,473	1602,815
11,156	2262,322	2895,360	1619,174
11,241	2266,874	2895,346	1634,750
11,319	2259,198	2894,482	1650,754
11,388	2255,334	2896,404	1665,219
11,508	2253,281	2894,320	1677,741
11,589	2242,122	2894,675	1692,403
11,704	2256,281	2893,622	1704,050
11,810	2268,416	2891,692	1714,675
11,874	2260,958	2892,985	1725,372
11,987	2269,336	2891,779	1737,484
12,090	2260,884	2894,091	1749,910
12,135	2252,991	2895,483	1762,343
12,275	2255,073	2894,514	1773,977
12,364	2260,541	2895,550	1783,180
12,451	2263,123	2893,867	1790,918
12,555	2263,957	2895,369	1800,789
12,684	2259,101	2894,855	1808,658
12,763	2254,113	2894,320	1816,497
12,852	2256,746	2895,218	1827,480
12,941	2256,565	2895,392	1834,099
13,012	2267,987	2897,762	1838,984
13,132	2267,726	2895,051	1846,226
13,219	2256,987	2897,450	1856,386
13,292	2260,425	2897,186	1860,431

13,436	2254,133	2894,202	1863,573
13,519	2255,855	2894,560	1871,472
13,577	2264,109	2898,238	1878,158
13,749	2258,914	2894,070	1882,276
13,754	2256,615	2895,114	1885,545
13,899	2264,407	2894,244	1890,345
14,024	2247,738	2896,100	1896,567
14,124	2256,596	2894,746	1897,813
14,177	2258,417	2896,066	1899,372
14,298	2261,937	2894,558	1904,717
14,361	2264,286	2894,259	1906,831
14,437	2260,811	2894,460	1911,648
14,570	2254,428	2894,741	1916,003
14,653	2261,049	2895,769	1921,976
14,732	2254,896	2892,319	1923,175
14,816	2270,325	2895,857	1930,066
14,961	2270,555	2893,446	1929,548
15,051	2268,942	2894,155	1931,721
15,136	2272,495	2893,775	1934,375
15,263	2260,219	2895,324	1940,043
15,326	2259,999	2893,388	1940,535
15,385	2275,841	2895,835	1942,016
15,516	2267,513	2897,001	1946,607
15,587	2273,060	2894,957	1948,530
15,707	2264,637	2896,154	1948,700
15,790	2253,657	2894,474	1947,479
15,858	2260,851	2894,968	1954,814

15,994	2265,283	2893,298	1953,412
16,065	2265,854	2894,387	1954,833
16,207	2269,442	2894,217	1954,426
16,293	2261,691	2894,046	1955,959
16,364	2250,543	2892,852	1956,035
16,430	2259,934	2897,068	1956,355
16,571	2264,947	2894,489	1959,713
16,635	2281,397	2892,993	1957,915
16,706	2282,102	2893,965	1959,458
16,853	2279,608	2894,106	1961,255
16,945	2281,901	2893,146	1962,386
17,061	2283,775	2894,255	1965,006
17,096	2292,091	2893,173	1964,174
17,182	2306,580	2893,199	1962,296
17,286	2306,199	2897,208	1963,151
17,400	2307,062	2894,854	1963,527
17,447	2306,587	2895,031	1965,653
17,554	2292,801	2891,206	1966,841
17,647	2306,660	2895,861	1968,405
17,756	2313,027	2894,013	1969,643
17,851	2308,258	2895,874	1969,385
17,975	2315,383	2894,585	1967,980
17,990	2318,071	2896,746	1973,050
18,122	2312,605	2894,796	1969,549
18,184	2323,626	2898,661	1973,321
18,248	2336,960	2896,990	1973,436
18,385	2349,437	2894,091	1970,553
18,488	2356,386	2892,833	1972,071
18,510	2357,657	2897,249	1971,173

18,620	2353,756	2896,459	1971,159
18,769	2355,433	2897,310	1969,976
18,855	2361,088	2893,775	1969,031
18,979	2365,011	2896,129	1969,078
19,001	2378,647	2896,998	1968,086
19,113	2368,777	2894,620	1968,296
19,207	2374,204	2899,141	1968,985
19,300	2363,938	2894,721	1965,916
19,343	2367,454	2897,019	1966,639
19,505	2369,562	2902,402	1968,676
19,572	2364,027	2899,778	1966,176
19,671	2368,505	2897,693	1965,837
19,813	2372,159	2900,828	1969,082
19,840	2375,510	2896,448	1967,690
19,933	2383,277	2897,480	1966,523
20,022	2397,212	2899,260	1961,656
20,137	2407,305	2898,179	1963,029
20,211	2403,301	2897,345	1963,015
20,289	2396,140	2896,727	1962,946
20,350	2380,078	2896,514	1965,306
20,443	2378,954	2896,290	1963,964
20,563	2374,391	2897,539	1962,982
20,663	2387,734	2896,903	1958,045
20,741	2382,372	2897,338	1959,041
20,794	2375,282	2896,248	1957,363
20,920	2377,389	2893,515	1957,329
21,037	2366,418	2895,044	1953,538

21,116	2360,540	2893,324	1953,573
21,219	2374,294	2896,975	1948,419
21,309	2369,746	2894,218	1950,145
21,379	2368,174	2899,692	1949,247
21,530	2355,655	2898,054	1950,174
21,565	2333,145	2897,277	1951,103
21,639	2339,311	2896,803	1948,359
21,758	2337,261	2893,254	1950,330
21,841	2331,845	2900,722	1951,735
21,973	2332,519	2901,295	1950,121
22,094	2321,566	2901,519	1948,903
22,120	2319,944	2898,380	1948,459
22,206	2313,705	2900,047	1945,738
22,315	2312,870	2897,722	1944,164
22,407	2324,028	2898,963	1940,620
22,477	2317,846	2899,175	1941,895
22,643	2306,518	2899,537	1940,100
22,684	2315,835	2899,950	1935,132
22,760	2325,207	2900,815	1937,522
22,896	2343,361	2899,140	1935,969
22,947	2352,015	2899,215	1934,384
23,076	2339,399	2898,372	1930,863
23,197	2329,473	2897,063	1928,292
23,214	2324,311	2900,027	1926,506
23,323	2311,142	2899,095	1923,346
23,407	2322,351	2898,732	1920,857
23,494	2334,738	2899,600	1921,292
23,626	2329,642	2897,228	1916,192
23,658	2330,672	2897,311	1914,981

23,817	2327,375	2896,726	1913,457
23,877	2326,121	2898,512	1912,235
23,939	2343,045	2899,793	1909,128
24,020	2355,077	2899,158	1906,366
24,154	2364,863	2898,005	1904,862
24,242	2364,268	2899,477	1897,970
24,356	2355,431	2898,202	1899,934
24,504	2348,632	2897,524	1902,939
24,538	2342,555	2899,047	1902,923
24,623	2347,790	2898,211	1901,370
24,696	2358,856	2897,553	1899,577
24,830	2354,643	2897,888	1901,686
24,897	2360,278	2897,530	1902,812
24,980	2357,873	2897,333	1903,284
25,116	2346,174	2898,764	1908,362
25,195	2356,748	2898,716	1908,381
25,283	2356,888	2896,569	1909,563
25,418	2338,466	2897,310	1910,544
25,492	2337,127	2897,743	1912,050
25,587	2319,692	2897,569	1913,679
25,690	2308,534	2899,674	1914,290
25,700	2312,853	2898,278	1918,010
25,851	2308,744	2898,234	1919,893
25,936	2310,099	2895,216	1923,822
26,055	2304,389	2897,516	1929,433
26,172	2301,196	2898,024	1929,374
26,267	2302,576	2899,619	1936,582

26,338	2312,085	2900,093	1939,198
26,472	2321,785	2899,889	1936,508
26,545	2323,577	2898,883	1942,553
26,674	2323,482	2897,109	1943,515
26,768	2319,780	2898,399	1942,602
26,818	2328,309	2899,419	1945,274
26,901	2317,667	2894,096	1945,408
26,973	2325,414	2899,266	1945,816
27,091	2325,096	2898,220	1945,874
27,245	2315,206	2895,495	1940,121
27,325	2317,542	2896,319	1944,077
27,405	2316,858	2896,003	1943,263
27,461	2307,941	2897,917	1947,044
27,566	2310,455	2896,619	1945,033
27,651	2308,127	2897,759	1948,469
27,720	2310,891	2897,157	1946,792
27,832	2305,944	2894,885	1945,506
27,894	2300,774	2895,830	1941,593
27,967	2295,445	2896,321	1943,595
28,101	2296,520	2897,396	1945,430
28,215	2296,375	2898,476	1943,454
28,228	2297,452	2898,601	1942,157
28,392	2296,385	2897,218	1940,831
28,407	2292,106	2896,251	1942,408
28,576	2292,670	2895,766	1942,501
28,645	2291,408	2894,432	1940,553
28,711	2301,849	2896,223	1944,862
28,874	2303,317	2899,079	1942,648
28,916	2293,052	2897,382	1940,814

29,050	2287,890	2898,301	1941,752
29,117	2277,448	2897,405	1943,394
29,238	2260,526	2897,800	1941,316
29,327	2272,986	2897,757	1940,461
29,360	2281,212	2897,989	1939,742
29,495	2288,916	2897,070	1938,286
29,548	2289,360	2897,223	1940,001
29,686	2281,764	2898,008	1939,572
29,743	2273,568	2895,166	1936,830
29,892	2276,059	2896,215	1937,972
29,970	2267,502	2897,373	1934,372
30,014	2276,853	2898,327	1935,800
30,092	2271,710	2899,757	1933,764
30,244	2263,289	2897,786	1935,925
30,273	2271,045	2897,040	1933,346
30,403	2264,411	2896,992	1933,181
30,443	2271,667	2898,846	1933,339
30,623	2283,322	2897,816	1930,729
30,678	2274,354	2898,035	1929,702
30,757	2279,680	2899,406	1931,685
30,869	2271,824	2900,107	1929,271
30,922	2266,806	2899,459	1929,191
31,089	2268,950	2899,381	1928,753
31,095	2273,388	2898,810	1925,954
31,236	2280,491	2898,971	1927,011
31,291	2283,778	2902,809	1926,049
31,364	2288,863	2902,356	1926,549

31,456	2290,514	2901,337	1928,847
31,593	2296,953	2901,338	1924,921
31,633	2304,951	2902,415	1922,269
31,709	2315,582	2901,727	1921,078
31,860	2317,832	2899,640	1923,331
31,930	2304,968	2898,665	1919,331
32,017	2304,090	2896,158	1919,904
32,074	2295,023	2898,355	1918,229
32,177	2293,058	2899,138	1916,771
32,282	2288,900	2898,799	1915,112
32,374	2266,947	2897,591	1912,550
32,485	2260,629	2898,783	1912,000
32,556	2251,824	2895,656	1912,103
32,672	2239,857	2897,556	1908,774
32,719	2243,630	2898,469	1906,708
32,813	2241,937	2897,927	1908,158
32,919	2235,022	2897,020	1903,693
33,003	2234,976	2897,701	1906,343
33,132	2232,829	2893,199	1905,358
33,203	2231,140	2897,309	1901,174
33,257	2240,026	2898,472	1900,121
33,368	2237,500	2896,986	1898,866
33,443	2240,750	2898,932	1899,000
33,560	2242,632	2896,623	1895,457
33,646	2231,008	2897,218	1898,354
33,728	2224,344	2896,580	1892,267
33,775	2218,981	2895,554	1896,322
33,797	2129,809	2895,378	1890,586
33,828	2051,625	2898,237	1888,700

33,850	1997,165	2897,203	1885,937
33,951	2113,406	2896,659	1889,143
34,059	2158,659	2898,216	1889,756
34,136	2164,529	2898,029	1886,607
34,205	2171,582	2896,802	1889,031
34,335	2171,329	2900,722	1885,421
34,399	2170,136	2899,202	1887,418
34,488	2164,957	2899,370	1889,139
34,584	2168,237	2899,328	1890,742
34,706	2162,408	2898,515	1886,181
34,750	2155,582	2897,288	1889,642
34,868	2149,080	2898,517	1887,285
34,954	2133,841	2898,361	1886,930
35,047	2135,765	2898,023	1888,175
35,104	2128,490	2901,385	1888,014
35,177	2120,256	2899,444	1889,151
35,291	2116,741	2899,092	1889,104
35,417	2115,036	2902,206	1886,490
35,500	2104,748	2900,245	1886,371
35,585	2099,906	2902,124	1885,707
35,676	2093,658	2901,860	1885,684
35,776	2093,534	2902,931	1885,781
35,881	2087,139	2903,292	1884,665
35,943	2081,768	2902,888	1881,761
36,004	2079,487	2905,245	1883,814
36,075	2072,489	2904,761	1881,961
36,235	2061,481	2906,802	1882,716

36,308	2060,758	2904,601	1882,330
36,390	2050,992	2905,865	1889,280
36,476	2041,624	2904,442	1889,173
36,529	2039,918	2903,585	1890,136
36,680	2026,916	2902,314	1896,190
36,753	2033,414	2902,393	1900,114
36,819	2025,132	2905,027	1903,884
36,966	2019,367	2903,943	1903,539
37,059	2011,451	2907,180	1902,432
37,103	2001,972	2907,159	1901,057
37,237	1988,828	2905,547	1896,553
37,314	2012,880	2906,008	1895,985
37,433	2015,181	2907,159	1896,373
37,509	2031,500	2907,095	1897,410
37,591	2026,842	2908,206	1899,018
37,646	2025,945	2903,338	1896,933
37,769	2024,618	2907,444	1894,726
37,872	2026,556	2904,297	1895,099
37,969	2020,166	2906,047	1888,936
38,073	2026,949	2906,752	1891,681
38,120	2020,670	2906,811	1888,970
38,231	2014,185	2906,160	1885,996
38,352	2005,290	2904,705	1888,325
38,402	1997,186	2907,478	1884,999
38,545	1991,369	2905,994	1883,329
38,620	1989,659	2906,511	1884,397
38,687	1983,214	2904,445	1881,088
38,790	1981,278	2905,948	1881,637
38,868	1973,340	2905,906	1878,639

38,977	1959,215	2907,539	1877,957
39,094	1959,448	2906,741	1876,920
39,171	1953,560	2906,801	1875,650
39,250	1948,178	2906,426	1871,248
39,328	1946,811	2906,214	1874,728
39,438	1937,442	2903,663	1872,689
39,529	1931,921	2908,289	1867,858
39,648	1933,956	2907,365	1866,502
39,714	1930,520	2905,258	1867,607
39,834	1932,342	2906,481	1866,735
39,962	1923,681	2903,495	1865,381
39,973	1916,937	2907,888	1865,068
40,117	1915,974	2907,046	1863,633
40,194	1916,874	2907,758	1865,375
40,300	1917,588	2907,480	1862,560
40,374	1919,534	2907,262	1864,058
40,469	1917,247	2903,384	1864,950
40,588	1903,065	2905,076	1868,359
40,694	1896,220	2905,960	1863,141
40,763	1891,344	2904,731	1864,915
40,831	1896,170	2907,281	1862,606
40,900	1898,214	2905,090	1861,963
41,055	1898,553	2907,223	1862,098
41,091	1901,770	2906,595	1865,706
41,214	1900,954	2906,331	1864,648
41,285	1904,092	2907,157	1864,690
41,364	1914,720	2906,668	1861,595

41,456	1920,242	2905,798	1863,723
41,586	1922,705	2906,689	1864,047
41,627	1924,960	2906,835	1857,577
41,733	1913,713	2907,085	1860,624
41,836	1913,149	2907,604	1864,174
41,931	1912,358	2907,024	1862,499
41,982	1910,901	2904,577	1862,724
42,104	1913,914	2907,038	1858,337
42,214	1912,998	2905,403	1859,253
42,274	1912,786	2902,863	1855,253
42,404	1915,793	2906,781	1861,952
42,463	1918,823	2906,276	1860,099
42,531	1926,512	2906,128	1858,814
42,652	1932,895	2905,013	1858,327
42,759	1938,202	2905,507	1857,008
42,851	1940,760	2902,101	1854,506
42,926	1941,340	2905,714	1857,081
42,994	1941,560	2907,471	1854,985
43,104	1944,983	2906,061	1856,210
43,222	1949,878	2906,083	1853,958
43,258	1955,811	2907,206	1857,046
43,398	1956,894	2906,793	1855,890
43,499	1959,482	2908,793	1854,626
43,591	1961,993	2904,460	1852,818
43,676	1964,193	2907,362	1854,489
43,703	1964,025	2907,399	1854,887
43,835	1959,270	2904,652	1852,312
43,970	1949,862	2903,088	1854,715
44,044	1942,401	2905,530	1855,194

44,126	1934,779	2907,417	1853,655
44,196	1925,265	2907,905	1853,653
44,297	1925,322	2905,063	1853,967
44,502	1922,590	2906,371	1856,709
44,556	1926,801	2907,545	1851,737
44,590	1931,517	2907,542	1851,028
44,665	1928,915	2907,492	1851,719
44,754	1923,661	2905,342	1847,863
44,861	1928,478	2906,963	1845,114
44,973	1931,739	2906,385	1846,192
45,030	1938,960	2906,943	1849,550
45,143	1938,195	2908,403	1846,522
45,176	1938,053	2907,647	1843,067
45,292	1937,983	2905,466	1846,316
45,406	1937,788	2906,332	1835,387
45,471	1937,707	2902,289	1846,013
45,568	1940,358	2908,457	1846,454
45,662	1938,712	2906,812	1842,220
45,768	1940,696	2904,773	1848,527
45,827	1939,686	2904,809	1849,563
45,930	1930,011	2906,253	1850,463
46,011	1926,097	2907,155	1849,134
46,120	1923,138	2899,254	1848,265
46,213	1916,425	2904,709	1845,873
46,304	1915,300	2907,324	1844,350
46,373	1912,420	2907,809	1840,866
46,520	1903,026	2907,755	1840,623

46,606	1916,341	2906,430	1839,804
46,635	1912,810	2905,449	1839,816
46,775	1919,955	2906,905	1835,350
46,805	1911,607	2905,393	1832,915
46,932	1903,971	2906,369	1832,372
47,056	1900,138	2904,869	1829,300
47,103	1898,787	2908,097	1832,920
47,176	1896,069	2903,575	1830,032
47,304	1903,762	2907,551	1833,174
47,462	1899,513	2904,831	1829,619
47,475	1893,033	2907,778	1832,318
47,594	1897,814	2905,467	1828,303
47,620	1891,792	2908,376	1827,771
47,770	1896,227	2906,734	1826,402
47,853	1894,713	2907,214	1825,503
47,971	1892,832	2906,125	1828,987
48,013	1895,165	2908,074	1825,072
48,058	1895,911	2906,987	1827,235
48,207	1893,926	2906,987	1825,433
48,312	1896,002	2905,537	1823,395
48,354	1899,385	2908,839	1823,964
48,452	1896,514	2900,561	1819,846
48,542	1845,850	2902,733	1824,598

7.10. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 2500 kPa com novo pistão

CÓDIGO CORPO DE PROVA	CP-2500 kPa.novo pistao	
Data moldagem:	12.12.2018	
Data saturação:	13.12.2018	
Data adensamento:	13.12.2018	
Data cisalhamento:	14.12.2018	
Tensão efetiva de ensaio (kPa):	2500	
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)	5	
Altura especificada Corpo de prova (cm)	10	
Teor de Umidade (meta) (%)	20,0%	
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm ³)	0,800	
G_{solo}	3,27	
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM		
Umidade média (%)	20,46%	
Massa CP úmido (g)	188,28	
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)	5,017	
Altura média Corpo de prova (cm)	9,774	
Área Corpo de prova (cm ²)	19,769	
Volume Corpo de prova (cm ³)	193,219	
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm ³)	0,974	
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm ³)	0,809	
Peso Solo obtido (g)	156,301	
Vol Solo obtido (cm ³)	47,798	
Volume vazios obtido (cm ³)	145,421	
Grau de compactação (%)	101,12%	
Variação teor umidade (%)	0,46%	
Variação diâmetro (mm)	0,017	
Variação altura (mm)	-0,226	
e após moldagem	3,042	
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO		
Volume final após adensamento	cm3	146,920

Diâmetro final após adensamento	cm	5,059
Altura final após adensamento	cm	7,308
e pos consolidação		2,306

Ensaio a 2500 kPa - novo pistao			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,000	0,000	2903,462	446,672
0,095	190,237	2904,239	448,040
0,160	206,304	2902,210	450,768
0,244	224,900	2900,825	447,166
0,344	240,808	2902,194	447,884
0,460	261,627	2894,972	453,386
0,532	283,856	2895,914	454,216
0,570	303,654	2893,280	450,645
0,580	336,817	2894,841	455,985
0,697	364,039	2899,756	455,127
0,709	388,919	2898,603	455,341
0,774	405,051	2898,454	457,092
0,896	427,611	2898,691	457,040
0,944	452,645	2897,852	459,420
1,024	473,695	2896,602	462,147
1,045	506,026	2896,460	463,160
1,102	535,078	2898,184	461,143
1,146	574,616	2896,033	463,608
1,255	603,655	2903,143	466,396
1,300	634,431	2902,749	466,875
1,346	657,270	2900,561	467,356
1,443	687,448	2901,199	466,578
1,488	717,876	2901,217	467,607
1,570	754,280	2899,343	468,526
1,660	763,915	2899,127	460,933
1,733	780,493	2894,715	458,855
1,815	793,351	2897,505	463,957
1,897	830,308	2896,993	464,506
1,953	859,927	2897,662	467,984
2,051	893,084	2898,088	467,001
2,128	917,681	2894,368	475,091
2,173	938,341	2894,616	476,219
2,262	958,162	2897,314	479,563
2,366	985,086	2896,133	481,273
2,448	1019,020	2896,175	480,885
2,498	1052,559	2893,731	483,473
2,593	1082,532	2895,081	486,745
2,628	1105,407	2893,189	487,604
2,717	1137,385	2895,850	491,522
2,776	1163,897	2893,464	494,252
2,851	1193,738	2893,664	493,663
2,948	1233,345	2895,335	497,516
3,009	1269,162	2895,888	500,959
3,087	1297,169	2899,483	501,943
3,170	1325,488	2898,742	502,909
3,232	1355,720	2893,859	505,129
3,322	1396,443	2900,462	508,506
3,393	1422,077	2898,731	511,079

3,504	1471,542	2901,432	515,432
3,555	1496,777	2898,922	517,818
3,639	1515,447	2896,479	521,254
3,717	1534,629	2899,661	524,264
3,790	1574,088	2897,352	527,392
3,875	1592,447	2897,617	529,773
3,965	1626,806	2898,896	533,734
4,031	1642,564	2894,065	537,545
4,124	1656,799	2900,780	539,169
4,202	1676,371	2898,931	543,298
4,270	1681,173	2897,908	547,584
4,351	1709,351	2897,391	547,364
4,425	1732,779	2892,833	555,375
4,554	1749,365	2895,425	560,104
4,624	1759,805	2895,296	566,640
4,723	1781,821	2894,019	571,249
4,783	1792,037	2897,646	577,568
4,844	1815,814	2900,115	584,916
4,958	1841,298	2897,736	593,348
5,061	1859,760	2895,924	597,896
5,108	1882,018	2894,964	605,347
5,180	1886,893	2898,530	613,400
5,273	1902,788	2895,905	621,861
5,392	1921,655	2895,618	630,327
5,481	1937,622	2894,043	642,128
5,553	1966,700	2895,929	653,472
5,611	1973,771	2894,916	660,453
5,741	1983,173	2895,392	673,206
5,816	1994,867	2897,420	684,876
5,895	2001,949	2894,996	694,164
6,005	2011,598	2896,211	708,559
6,060	2033,032	2898,190	720,535
6,156	2038,669	2893,946	731,603
6,224	2049,346	2892,127	744,036
6,330	2055,044	2897,284	757,617
6,413	2061,153	2896,081	771,041
6,518	2079,133	2898,491	785,772
6,595	2102,343	2896,964	800,603
6,668	2116,563	2895,056	809,334
6,767	2120,489	2895,707	823,527
6,878	2131,059	2896,458	831,211
6,912	2135,899	2902,775	846,073
7,005	2151,234	2897,738	859,607
7,091	2168,188	2893,794	875,546
7,210	2190,731	2894,799	889,337
7,308	2189,560	2898,893	904,432
7,393	2189,950	2898,131	919,789
7,476	2189,258	2895,679	936,091
7,524	2191,605	2896,944	950,848
7,625	2204,982	2895,002	963,990
7,739	2216,887	2895,379	980,110
7,802	2227,566	2893,957	990,686
7,906	2232,995	2896,017	1007,566
7,993	2243,519	2896,854	1026,375
8,085	2242,058	2890,925	1049,204
8,176	2257,198	2897,156	1068,743
8,256	2267,721	2891,836	1080,885
8,327	2268,911	2897,688	1097,608

8,414	2278,461	2901,463	1115,224
8,527	2280,408	2890,836	1130,253
8,601	2272,963	2893,963	1143,295
8,701	2281,289	2895,179	1163,924
8,823	2287,865	2899,187	1180,150
8,909	2298,311	2897,221	1196,467
8,987	2298,490	2893,231	1212,006
9,087	2289,998	2894,152	1228,377
9,156	2288,042	2895,737	1238,070
9,278	2289,324	2901,272	1258,569
9,374	2287,448	2898,223	1275,512
9,454	2304,171	2897,024	1293,227
9,495	2298,338	2891,717	1307,581
9,657	2293,108	2895,594	1321,626
9,748	2293,787	2896,556	1340,864
9,834	2274,592	2894,650	1354,975
9,891	2274,651	2894,182	1373,481
10,036	2272,321	2893,960	1386,024
10,090	2270,857	2895,047	1399,324
10,203	2267,693	2894,788	1413,666
10,274	2269,201	2894,653	1442,108
10,373	2257,896	2898,593	1471,088
10,470	2268,350	2901,593	1492,705
10,571	2266,862	2899,468	1513,636
10,673	2277,324	2897,309	1533,051
10,789	2277,489	2895,395	1552,062
10,848	2268,050	2894,242	1567,409
10,941	2260,804	2899,395	1584,979
11,056	2261,839	2896,473	1602,815
11,156	2262,322	2895,360	1619,174
11,241	2266,874	2895,346	1634,750
11,319	2259,198	2894,482	1650,754
11,388	2255,334	2896,404	1665,219
11,508	2253,281	2894,320	1677,741
11,589	2242,122	2894,675	1692,403
11,704	2256,281	2893,622	1704,050
11,810	2268,416	2891,692	1714,675
11,874	2260,958	2892,985	1725,372
11,987	2269,336	2891,779	1737,484
12,090	2260,884	2894,091	1749,910
12,135	2252,991	2895,483	1762,343
12,275	2255,073	2894,514	1773,977
12,364	2260,541	2895,550	1783,180
12,451	2263,123	2893,867	1790,918
12,555	2263,957	2895,369	1800,789
12,684	2259,101	2894,855	1808,658
12,763	2254,113	2894,320	1816,497
12,852	2256,746	2895,218	1827,480
12,941	2256,565	2895,392	1834,099
13,012	2267,987	2897,762	1838,984
13,132	2267,726	2895,051	1846,226
13,219	2256,987	2897,450	1856,386
13,292	2260,425	2897,186	1860,431
13,436	2254,133	2894,202	1863,573
13,519	2255,855	2894,560	1871,472
13,577	2264,109	2898,238	1878,158
13,749	2258,914	2894,070	1882,276
13,754	2256,615	2895,114	1885,545
13,899	2264,407	2894,244	1890,345
14,024	2247,738	2896,100	1896,567
14,124	2256,596	2894,746	1897,813

14,177	2258,417	2896,066	1899,372
14,298	2261,937	2894,558	1904,717
14,361	2264,286	2894,259	1906,831
14,437	2260,811	2894,460	1911,648
14,570	2254,428	2894,741	1916,003
14,653	2261,049	2895,769	1921,976
14,732	2254,896	2892,319	1923,175
14,816	2270,325	2895,857	1930,066
14,961	2270,555	2893,446	1929,548
15,051	2268,942	2894,155	1931,721
15,136	2272,495	2893,775	1934,375
15,263	2260,219	2895,324	1940,043
15,326	2259,999	2893,388	1940,535
15,385	2275,841	2895,835	1942,016
15,516	2267,513	2897,001	1946,607
15,587	2273,060	2894,957	1948,530
15,707	2264,637	2896,154	1948,700
15,790	2253,657	2894,474	1947,479
15,858	2260,851	2894,968	1954,814
15,994	2265,283	2893,298	1953,412
16,065	2265,854	2894,387	1954,833
16,207	2269,442	2894,217	1954,426
16,293	2261,691	2894,046	1955,959
16,364	2250,543	2892,852	1956,035
16,430	2259,934	2897,068	1956,355
16,571	2264,947	2894,489	1959,713
16,635	2281,397	2892,993	1957,915
16,706	2282,102	2893,965	1959,458
16,853	2279,608	2894,106	1961,255
16,945	2281,901	2893,146	1962,386
17,061	2283,775	2894,255	1965,006
17,096	2292,091	2893,173	1964,174
17,182	2306,580	2893,199	1962,296
17,286	2306,199	2897,208	1963,151
17,400	2307,062	2894,854	1963,527
17,447	2306,587	2895,031	1965,653
17,554	2292,801	2891,206	1966,841
17,647	2306,660	2895,861	1968,405
17,756	2313,027	2894,013	1969,643
17,851	2308,258	2895,874	1969,385
17,975	2315,383	2894,585	1967,980
17,990	2318,071	2896,746	1973,050
18,122	2312,605	2894,796	1969,549
18,184	2323,626	2898,661	1973,321
18,248	2336,960	2896,990	1973,436
18,385	2349,437	2894,091	1970,553
18,488	2356,386	2892,833	1972,071
18,510	2357,657	2897,249	1971,173
18,620	2353,756	2896,459	1971,159
18,769	2355,433	2897,310	1969,976
18,855	2361,088	2893,775	1969,031
18,979	2365,011	2896,129	1969,078
19,001	2378,647	2896,998	1968,086
19,113	2368,777	2894,620	1968,296
19,207	2374,204	2899,141	1968,985
19,300	2363,938	2894,721	1965,916
19,343	2367,454	2897,019	1966,639
19,505	2369,562	2902,402	1968,676

19,572	2364,027	2899,778	1966,176
19,671	2368,505	2897,693	1965,837
19,813	2372,159	2900,828	1969,082
19,840	2375,510	2896,448	1967,690
19,933	2383,277	2897,480	1966,523
20,022	2397,212	2899,260	1961,656
20,137	2407,305	2898,179	1963,029
20,211	2403,301	2897,345	1963,015
20,289	2396,140	2896,727	1962,946
20,350	2380,078	2896,514	1965,306
20,443	2378,954	2896,290	1963,964
20,563	2374,391	2897,539	1962,982
20,663	2387,734	2896,903	1958,045
20,741	2382,372	2897,338	1959,041
20,794	2375,282	2896,248	1957,363
20,920	2377,389	2893,515	1957,329
21,037	2366,418	2895,044	1953,538
21,116	2360,540	2893,324	1953,573
21,219	2374,294	2896,975	1948,419
21,309	2369,746	2894,218	1950,145
21,379	2368,174	2899,692	1949,247
21,530	2355,655	2898,054	1950,174
21,565	2333,145	2897,277	1951,103
21,639	2339,311	2896,803	1948,359
21,758	2337,261	2893,254	1950,330
21,841	2331,845	2900,722	1951,735
21,973	2332,519	2901,295	1950,121
22,094	2321,566	2901,519	1948,903
22,120	2319,944	2898,380	1948,459
22,206	2313,705	2900,047	1945,738
22,315	2312,870	2897,722	1944,164
22,407	2324,028	2898,963	1940,620
22,477	2317,846	2899,175	1941,895
22,643	2306,518	2899,537	1940,100
22,684	2315,835	2899,950	1935,132
22,760	2325,207	2900,815	1937,522
22,896	2343,361	2899,140	1935,969
22,947	2352,015	2899,215	1934,384
23,076	2339,399	2898,372	1930,863
23,197	2329,473	2897,063	1928,292
23,214	2324,311	2900,027	1926,506
23,323	2311,142	2899,095	1923,346
23,407	2322,351	2898,732	1920,857
23,494	2334,738	2899,600	1921,292
23,626	2329,642	2897,228	1916,192
23,658	2330,672	2897,311	1914,981
23,817	2327,375	2896,726	1913,457
23,877	2326,121	2898,512	1912,235
23,939	2343,045	2899,793	1909,128
24,020	2355,077	2899,158	1906,366
24,154	2364,863	2898,005	1904,862
24,242	2364,268	2899,477	1897,970
24,356	2355,431	2898,202	1899,934
24,504	2348,632	2897,524	1902,939
24,538	2342,555	2899,047	1902,923
24,623	2347,790	2898,211	1901,370
24,696	2358,856	2897,553	1899,577
24,830	2354,643	2897,888	1901,686
24,897	2360,278	2897,530	1902,812
24,980	2357,873	2897,333	1903,284
25,116	2346,174	2898,764	1908,362

25,195	2356,748	2898,716	1908,381
25,283	2356,888	2896,569	1909,563
25,418	2338,466	2897,310	1910,544
25,492	2337,127	2897,743	1912,050
25,587	2319,692	2897,569	1913,679
25,690	2308,534	2899,674	1914,290
25,700	2312,853	2898,278	1918,010
25,851	2308,744	2898,234	1919,893
25,936	2310,099	2895,216	1923,822
26,055	2304,389	2897,516	1929,433
26,172	2301,196	2898,024	1929,374
26,267	2302,576	2899,619	1936,582
26,338	2312,085	2900,093	1939,198
26,472	2321,785	2899,889	1936,508
26,545	2323,577	2898,883	1942,553
26,674	2323,482	2897,109	1943,515
26,768	2319,780	2898,399	1942,602
26,818	2328,309	2899,419	1945,274
26,901	2317,667	2894,096	1945,408
26,973	2325,414	2899,266	1945,816
27,091	2325,096	2898,220	1945,874
27,245	2315,206	2895,495	1940,121
27,325	2317,542	2896,319	1944,077
27,405	2316,858	2896,003	1943,263
27,461	2307,941	2897,917	1947,044
27,566	2310,455	2896,619	1945,033
27,651	2308,127	2897,759	1948,469
27,720	2310,891	2897,157	1946,792
27,832	2305,944	2894,885	1945,506
27,894	2300,774	2895,830	1941,593
27,967	2295,445	2896,321	1943,595
28,101	2296,520	2897,396	1945,430
28,215	2296,375	2898,476	1943,454
28,228	2297,452	2898,601	1942,157
28,392	2296,385	2897,218	1940,831
28,407	2292,106	2896,251	1942,408
28,576	2292,670	2895,766	1942,501
28,645	2291,408	2894,432	1940,553
28,711	2301,849	2896,223	1944,862
28,874	2303,317	2899,079	1942,648
28,916	2293,052	2897,382	1940,814
29,050	2287,890	2898,301	1941,752
29,117	2277,448	2897,405	1943,394
29,238	2260,526	2897,800	1941,316
29,327	2272,986	2897,757	1940,461
29,360	2281,212	2897,989	1939,742
29,495	2288,916	2897,070	1938,286
29,548	2289,360	2897,223	1940,001
29,686	2281,764	2898,008	1939,572
29,743	2273,568	2895,166	1936,830
29,892	2276,059	2896,215	1937,972
29,970	2267,502	2897,373	1934,372
30,014	2276,853	2898,327	1935,800
30,092	2271,710	2899,757	1933,764
30,244	2263,289	2897,786	1935,925
30,273	2271,045	2897,040	1933,346
30,403	2264,411	2896,992	1933,181
30,443	2271,667	2898,846	1933,339

30,623	2283,322	2897,816	1930,729
30,678	2274,354	2898,035	1929,702
30,757	2279,680	2899,406	1931,685
30,869	2271,824	2900,107	1929,271
30,922	2266,806	2899,459	1929,191
31,089	2268,950	2899,381	1928,753
31,095	2273,388	2898,810	1925,954
31,236	2280,491	2898,971	1927,011
31,291	2283,778	2902,809	1926,049
31,364	2288,863	2902,356	1926,549
31,456	2290,514	2901,337	1928,847
31,593	2296,953	2901,338	1924,921
31,633	2304,951	2902,415	1922,269
31,709	2315,582	2901,727	1921,078
31,860	2317,832	2899,640	1923,331
31,930	2304,968	2898,665	1919,331
32,017	2304,090	2896,158	1919,904
32,074	2295,023	2898,355	1918,229
32,177	2293,058	2899,138	1916,771
32,282	2288,900	2898,799	1915,112
32,374	2266,947	2897,591	1912,550
32,485	2260,629	2898,783	1912,000
32,556	2251,824	2895,656	1912,103
32,672	2239,857	2897,556	1908,774
32,719	2243,630	2898,469	1906,708
32,813	2241,937	2897,927	1908,158
32,919	2235,022	2897,020	1903,693
33,003	2234,976	2897,701	1906,343
33,132	2232,829	2893,199	1905,358
33,203	2231,140	2897,309	1901,174
33,257	2240,026	2898,472	1900,121
33,368	2237,500	2896,986	1898,866
33,443	2240,750	2898,932	1899,000
33,560	2242,632	2896,623	1895,457
33,646	2231,008	2897,218	1898,354
33,728	2224,344	2896,580	1892,267
33,775	2218,981	2895,554	1896,322
33,797	2129,809	2895,378	1890,586
33,828	2051,625	2898,237	1888,700
33,850	1997,165	2897,203	1885,937
33,951	2113,406	2896,659	1889,143
34,059	2158,659	2898,216	1889,756
34,136	2164,529	2898,029	1886,607
34,205	2171,582	2896,802	1889,031
34,335	2171,329	2900,722	1885,421
34,399	2170,136	2899,202	1887,418
34,488	2164,957	2899,370	1889,139
34,584	2168,237	2899,328	1890,742
34,706	2162,408	2898,515	1886,181
34,750	2155,582	2897,288	1889,642
34,868	2149,080	2898,517	1887,285
34,954	2133,841	2898,361	1886,930
35,047	2135,765	2898,023	1888,175
35,104	2128,490	2901,385	1888,014
35,177	2120,256	2899,444	1889,151
35,291	2116,741	2899,092	1889,104
35,417	2115,036	2902,206	1886,490
35,500	2104,748	2900,245	1886,371
35,585	2099,906	2902,124	1885,707
35,676	2093,658	2901,860	1885,684
35,776	2093,534	2902,931	1885,781

35,881	2087,139	2903,292	1884,665
35,943	2081,768	2902,888	1881,761
36,004	2079,487	2905,245	1883,814
36,075	2072,489	2904,761	1881,961
36,235	2061,481	2906,802	1882,716
36,308	2060,758	2904,601	1882,330
36,390	2050,992	2905,865	1889,280
36,476	2041,624	2904,442	1889,173
36,529	2039,918	2903,585	1890,136
36,680	2026,916	2902,314	1896,190
36,753	2033,414	2902,393	1900,114
36,819	2025,132	2905,027	1903,884
36,966	2019,367	2903,943	1903,539
37,059	2011,451	2907,180	1902,432
37,103	2001,972	2907,159	1901,057
37,237	1988,828	2905,547	1896,553
37,314	2012,880	2906,008	1895,985
37,433	2015,181	2907,159	1896,373
37,509	2031,500	2907,095	1897,410
37,591	2026,842	2908,206	1899,018
37,646	2025,945	2903,338	1896,933
37,769	2024,618	2907,444	1894,726
37,872	2026,556	2904,297	1895,099
37,969	2020,166	2906,047	1888,936
38,073	2026,949	2906,752	1891,681
38,120	2020,670	2906,811	1888,970
38,231	2014,185	2906,160	1885,996
38,352	2005,290	2904,705	1888,325
38,402	1997,186	2907,478	1884,999
38,545	1991,369	2905,994	1883,329
38,620	1989,659	2906,511	1884,397
38,687	1983,214	2904,445	1881,088
38,790	1981,278	2905,948	1881,637
38,868	1973,340	2905,906	1878,639
38,977	1959,215	2907,539	1877,957
39,094	1959,448	2906,741	1876,920
39,171	1953,560	2906,801	1875,650
39,250	1948,178	2906,426	1871,248
39,328	1946,811	2906,214	1874,728
39,438	1937,442	2903,663	1872,689
39,529	1931,921	2908,289	1867,858
39,648	1933,956	2907,365	1866,502
39,714	1930,520	2905,258	1867,607
39,834	1932,342	2906,481	1866,735
39,962	1923,681	2903,495	1865,381
39,973	1916,937	2907,888	1865,068
40,117	1915,974	2907,046	1863,633
40,194	1916,874	2907,758	1865,375
40,300	1917,588	2907,480	1862,560
40,374	1919,534	2907,262	1864,058
40,469	1917,247	2903,384	1864,950
40,588	1903,065	2905,076	1868,359
40,694	1896,220	2905,960	1863,141
40,763	1891,344	2904,731	1864,915
40,831	1896,170	2907,281	1862,606
40,900	1898,214	2905,090	1861,963
41,055	1898,553	2907,223	1862,098
41,091	1901,770	2906,595	1865,706

41,214	1900,954	2906,331	1864,648
41,285	1904,092	2907,157	1864,690
41,364	1914,720	2906,668	1861,595
41,456	1920,242	2905,798	1863,723
41,586	1922,705	2906,689	1864,047
41,627	1924,960	2906,835	1857,577
41,733	1913,713	2907,085	1860,624
41,836	1913,149	2907,604	1864,174
41,931	1912,358	2907,024	1862,499
41,982	1910,901	2904,577	1862,724
42,104	1913,914	2907,038	1858,337
42,214	1912,998	2905,403	1859,253
42,274	1912,786	2902,863	1855,253
42,404	1915,793	2906,781	1861,952
42,463	1918,823	2906,276	1860,099
42,531	1926,512	2906,128	1858,814
42,652	1932,895	2905,013	1858,327
42,759	1938,202	2905,507	1857,008
42,851	1940,760	2902,101	1854,506
42,926	1941,340	2905,714	1857,081
42,994	1941,560	2907,471	1854,985
43,104	1944,983	2906,061	1856,210
43,222	1949,878	2906,083	1853,958
43,258	1955,811	2907,206	1857,046
43,398	1956,894	2906,793	1855,890
43,499	1959,482	2908,793	1854,626
43,591	1961,993	2904,460	1852,818
43,676	1964,193	2907,362	1854,489
43,703	1964,025	2907,399	1854,887
43,835	1959,270	2904,652	1852,312
43,970	1949,862	2903,088	1854,715
44,044	1942,401	2905,530	1855,194
44,126	1934,779	2907,417	1853,655
44,196	1925,265	2907,905	1853,653
44,297	1925,322	2905,063	1853,967
44,502	1922,590	2906,371	1856,709
44,556	1926,801	2907,545	1851,737
44,590	1931,517	2907,542	1851,028
44,665	1928,915	2907,492	1851,719
44,754	1923,661	2905,342	1847,863
44,861	1928,478	2906,963	1845,114
44,973	1931,739	2906,385	1846,192
45,030	1938,960	2906,943	1849,550
45,143	1938,195	2908,403	1846,522
45,176	1938,053	2907,647	1843,067
45,292	1937,983	2905,466	1846,316
45,406	1937,788	2906,332	1835,387
45,471	1937,707	2902,289	1846,013
45,568	1940,358	2908,457	1846,454
45,662	1938,712	2906,812	1842,220
45,768	1940,696	2904,773	1848,527
45,827	1939,686	2904,809	1849,563
45,930	1930,011	2906,253	1850,463
46,011	1926,097	2907,155	1849,134
46,120	1923,138	2899,254	1848,265
46,213	1916,425	2904,709	1845,873
46,304	1915,300	2907,324	1844,350
46,373	1912,420	2907,809	1840,866
46,520	1903,026	2907,755	1840,623
46,606	1916,341	2906,430	1839,804
46,635	1912,810	2905,449	1839,816

46,775	1919,955	2906,905	1835,350
46,805	1911,607	2905,393	1832,915
46,932	1903,971	2906,369	1832,372
47,056	1900,138	2904,869	1829,300
47,103	1898,787	2908,097	1832,920
47,176	1896,069	2903,575	1830,032
47,304	1903,762	2907,551	1833,174
47,462	1899,513	2904,831	1829,619
47,475	1893,033	2907,778	1832,318
47,594	1897,814	2905,467	1828,303
47,620	1891,792	2908,376	1827,771
47,770	1896,227	2906,734	1826,402
47,853	1894,713	2907,214	1825,503
47,971	1892,832	2906,125	1828,987
48,013	1895,165	2908,074	1825,072
48,058	1895,911	2906,987	1827,235
48,207	1893,926	2906,987	1825,433
48,312	1896,002	2905,537	1823,395
48,354	1899,385	2908,839	1823,964
48,452	1896,514	2900,561	1819,846
48,542	1845,850	2902,733	1824,598

7.11. Dados brutos do ensaio CIU com tensão efetiva de 4000 kPa com novo pistão

CÓDIGO CORPO DE PROVA		CP-4000 kPa. novo pistao
Data moldagem:		08.12.2018
Data saturação:		10.12.2018
Data adensamento:		10.12.2018
Data cisalhamento:		11.12.2018
Tensão efetiva de ensaio (kPa):		4000
Diâmetro especificado Corpo de prova (cm)		5
Altura especificada Corpo de prova (cm)		10
Teor de Umidade (meta) (%)		20,0%
Peso Esp. Apar. Seco (meta) - γ_d (g/cm ³)		0,800
G_{solo}		3,27
VALORES OBTIDOS APÓS MOLDAGEM		
Umidade média (%)		16,00%
Massa CP úmido (g)		188,39
Diâmetro médio Corpo de prova (cm)		5,040
Altura média Corpo de prova (cm)		9,891
Área Corpo de prova (cm ²)		19,950
Volume Corpo de prova (cm ³)		197,329
Peso Esp. Apar. Úmido obtido - γ_h (g/cm ³)		0,955
Peso Esp. Apar. Seco obtido - γ_d (g/cm ³)		0,823
Peso Solo obtido (g)		162,405
Vol Solo obtido (cm ³)		49,665
Volume vazios obtido (cm ³)		147,664
Grau de compactação (%)		102,88%
Variação teor umidade (%)		-4,00%
Variação diâmetro (mm)		0,040
Variação altura (mm)		-0,109
e após moldagem		2,973
VALORES OBTIDOS APÓS CONSOLIDAÇÃO		
Volume final após adensamento	cm3	142,066
Diâmetro final após adensamento	cm	5,041
Altura final após adensamento	cm	7,119
e pos consolidação		2,196

Ensaio a 4000 kPa - novo pistao			
def axial (ϵ_a)	tensão desvio corrigida	tensão confinante total	contrapressão
%	kPa	kPa	kPa
0,000	0,000	4391,409	982,9621638
0,072	824,347	4394,537	1002,73321
0,150	886,570	4399,535	1019,203339
0,264	943,117	4394,909	1039,570774
0,291	1016,630	4397,437	1057,665333
0,411	1098,970	4392,276	1084,678707
0,460	1210,206	4393,571	1110,618528
0,517	1309,316	4392,540	1133,67624
0,596	1395,377	4392,729	1156,37255
0,698	1472,413	4395,150	1186,903174
0,753	1562,451	4392,009	1216,518069
0,858	1633,786	4399,576	1247,909967
0,887	1725,745	4396,057	1279,003174
0,986	1794,022	4393,226	1305,798127
1,071	1853,971	4396,101	1339,552846
1,111	1917,602	4394,289	1368,027205
1,260	1964,658	4394,260	1403,169413
1,265	2037,451	4394,806	1439,093086
1,354	2096,106	4398,667	1477,494201
1,461	2144,078	4394,629	1523,425355
1,505	2192,878	4393,415	1560,22912
1,569	2240,180	4395,679	1599,718243
1,669	2257,715	4395,430	1648,895082
1,729	2314,611	4399,604	1694,113844
1,811	2352,284	4394,465	1737,268069
1,883	2399,359	4399,087	1784,710902
2,006	2442,274	4399,302	1826,200589
2,070	2477,932	4394,693	1865,3014
2,132	2507,766	4396,591	1907,320506
2,225	2545,829	4394,495	1949,945445
2,294	2580,637	4393,422	1993,476282
2,351	2628,224	4397,944	2038,155001
2,474	2645,624	4391,305	2071,669808
2,547	2673,882	4394,680	2122,354085
2,619	2688,458	4397,476	2161,326811
2,701	2699,330	4398,042	2202,071536
2,765	2711,269	4390,627	2243,620616
2,844	2734,302	4394,309	2284,165522

2,946	2747,055	4392,485	2323,86749
3,054	2764,848	4396,866	2361,611779
3,126	2782,947	4393,416	2393,564777
3,184	2775,366	4396,678	2433,308977
3,319	2809,408	4393,267	2465,672144
3,341	2835,346	4397,443	2502,642317
3,452	2856,909	4392,325	2532,392857
3,556	2863,175	4392,909	2564,566818
3,621	2871,477	4391,950	2593,710703
3,691	2872,677	4393,194	2624,737957
3,818	2875,636	4397,991	2659,602811
3,917	2879,379	4392,090	2688,931906
3,995	2895,033	4392,399	2717,635704
4,081	2896,031	4396,182	2746,560694
4,213	2896,342	4394,772	2773,418351
4,274	2902,145	4392,863	2795,473924
4,334	2899,403	4395,867	2821,466965
4,477	2911,485	4392,736	2839,710829
4,557	2921,771	4394,095	2855,758352
4,607	2918,231	4395,111	2886,023853
4,733	2926,683	4394,674	2902,740015
4,838	2925,348	4398,166	2923,53373
4,829	2913,860	4400,488	2946,962802
4,933	2929,655	4398,723	2961,664997
5,053	2918,505	4396,353	2975,069426
5,173	2908,286	4395,512	2991,841784
5,248	2906,626	4400,814	3012,70471
5,316	2904,756	4397,485	3022,747504
5,445	2902,282	4393,311	3035,683484
5,526	2920,279	4398,185	3053,588404
5,583	2928,147	4395,458	3065,215902
5,730	2944,037	4399,607	3074,791822
5,791	2944,921	4394,267	3085,222831
5,879	2941,699	4396,181	3096,978168
5,999	2948,241	4394,705	3109,476209
6,039	2937,541	4394,881	3120,100746
6,157	2935,375	4393,080	3130,484845
6,258	2940,578	4389,465	3139,977363
6,333	2937,459	4398,110	3148,451668
6,468	2933,414	4393,751	3160,015177
6,505	2931,243	4398,102	3167,799915
6,620	2911,827	4395,193	3176,647449
6,714	2917,797	4393,878	3182,49091
6,859	2916,244	4395,166	3190,607597
6,905	2916,915	4398,298	3199,996384
7,005	2935,309	4397,621	3206,198892
7,100	2935,844	4395,178	3208,308821
7,174	2923,893	4389,311	3215,795301

7,293	2929,612	4399,847	3224,863042
7,369	2931,277	4397,421	3230,777468
7,434	2951,544	4394,954	3235,510058
7,606	2946,547	4395,440	3241,548939
7,611	2946,287	4392,997	3246,049349
7,752	2941,173	4399,099	3255,015006
7,819	2945,607	4396,397	3254,16562
7,958	2949,961	4395,216	3263,445607
7,961	2972,151	4392,912	3266,282508
8,070	2975,567	4394,396	3270,380782
8,227	2978,232	4393,266	3278,664929
8,299	2980,379	4395,130	3283,755234
8,379	2961,318	4395,494	3288,115313
8,494	2971,331	4398,443	3296,934378
8,501	2979,348	4394,920	3297,178188
8,672	2979,297	4394,160	3304,100283
8,722	2990,399	4394,888	3304,188475
8,795	2990,289	4400,663	3311,936535
8,926	2972,814	4399,139	3316,626302
9,009	2978,165	4399,795	3316,787821
9,121	2972,326	4396,916	3316,986651
9,206	2983,019	4393,428	3322,210584
9,295	2982,845	4394,281	3322,063626
9,432	2973,772	4393,062	3322,073846
9,528	2962,666	4396,977	3327,056584
9,581	2957,245	4396,303	3328,962536
9,640	2961,168	4395,351	3330,369359
9,730	2972,635	4396,203	3330,788831
9,847	2974,621	4395,202	3329,438235
9,900	2984,145	4392,895	3332,997243
10,031	2995,383	4397,536	3335,02201
10,070	2991,618	4395,795	3335,196222
10,155	3014,839	4395,004	3336,701912
10,292	3025,988	4397,348	3338,867083
10,385	3024,130	4396,348	3337,286761
10,436	3030,983	4393,828	3336,840235
10,569	3020,038	4399,894	3343,296051
10,614	3000,901	4401,395	3345,329917
10,722	3012,512	4402,633	3344,280386
10,801	3011,072	4398,152	3344,77536
10,888	3020,839	4401,533	3345,919625
10,972	3002,599	4390,984	3344,590161
11,047	2997,772	4403,728	3339,612721
11,187	2997,991	4402,803	3348,493814
11,265	2998,473	4401,970	3346,527518

11,348	3002,691	4402,822	3346,277832
11,439	3009,077	4400,993	3348,151287
11,465	3006,512	4402,634	3342,041928
11,546	3005,697	4402,890	3345,850133
11,678	3008,826	4402,883	3342,997524
11,801	2996,006	4402,489	3348,033514
11,835	3005,589	4401,767	3350,723359
11,963	3014,939	4402,686	3348,301397
12,016	3011,190	4401,569	3349,632935
12,151	3017,555	4400,173	3348,720611
12,231	3017,929	4402,963	3344,411737
12,299	3005,798	4403,308	3348,908172
12,403	3018,666	4401,977	3347,866061
12,499	3031,078	4403,896	3346,964043
12,539	3053,168	4406,008	3348,833092
12,670	3067,932	4405,125	3348,325144
12,763	3073,568	4405,950	3349,151665
12,808	3080,093	4404,672	3349,040209
12,884	3095,647	4404,124	3351,198728
12,995	3105,531	4403,004	3342,284254
13,080	3123,347	4404,254	3344,361046
13,136	3130,668	4402,947	3350,286972
13,281	3132,569	4404,708	3348,500155
13,379	3140,165	4404,140	3348,157055
13,396	3135,075	4402,645	3346,609486
13,516	3149,789	4402,816	3348,205537
13,626	3167,531	4401,031	3347,357896
13,696	3166,705	4405,314	3348,630286
13,775	3174,831	4403,630	3347,740139
13,895	3170,786	4403,894	3345,309754
13,981	3142,647	4405,869	3345,679564
14,016	3165,765	4405,512	3345,386854
14,146	3166,015	4399,000	3343,590876
14,241	3174,900	4407,366	3347,980498
14,323	3178,935	4408,098	3347,89158
14,340	3179,443	4407,488	3343,612077
14,458	3174,514	4407,281	3344,868859
14,537	3184,353	4408,812	3343,88645
14,649	3194,462	4407,952	3341,03693
14,769	3203,502	4405,979	3340,496701
14,874	3202,551	4404,693	3337,506519
14,948	3204,535	4404,418	3336,225467
14,994	3197,138	4403,832	3334,706687
15,107	3195,044	4401,984	3328,23039
15,188	3206,305	4402,185	3331,715113
15,243	3215,492	4400,055	3328,566696
15,387	3200,707	4399,441	3326,582254
15,448	3203,034	4397,398	3326,510038

15,556	3194,085	4397,960	3325,802498
15,608	3176,649	4396,251	3320,676338
15,675	3179,463	4395,982	3324,039216
15,832	3164,374	4392,790	3320,257936
15,934	3163,266	4395,637	3317,766547
16,034	3171,242	4395,312	3317,74818
16,093	3167,620	4394,538	3314,678663
16,165	3150,069	4397,698	3317,650771
16,206	3158,220	4398,003	3315,073389
16,360	3167,110	4391,369	3312,813211
16,421	3181,200	4396,294	3313,821336
16,543	3185,183	4395,788	3311,653798
16,651	3187,596	4397,106	3305,72548
16,722	3178,252	4396,393	3310,029575
16,801	3175,109	4393,759	3306,235863
16,911	3182,324	4394,877	3307,057415
17,011	3199,449	4396,982	3307,165792
17,102	3202,417	4395,865	3304,941177
17,208	3208,833	4396,447	3306,503154
17,302	3209,892	4396,291	3305,419206
17,422	3200,486	4397,069	3307,805901
17,492	3217,175	4397,665	3304,757614
17,553	3225,635	4397,778	3301,226613
17,641	3224,572	4396,233	3312,857909
17,738	3227,525	4396,630	3328,155132
17,818	3214,923	4395,644	3337,956419
17,941	3188,484	4396,357	3346,289601
18,074	3187,913	4394,333	3345,037786
18,151	3190,068	4394,900	3348,504997
18,193	3194,185	4395,620	3352,719047
18,351	3196,115	4397,959	3354,456981
18,431	3183,197	4395,800	3352,733974
18,507	3175,930	4391,971	3354,55632
18,628	3167,823	4394,867	3357,377376
18,686	3167,250	4392,887	3355,338409
18,767	3172,426	4394,247	3357,759087
18,894	3160,832	4393,395	3354,28966
18,990	3157,656	4393,779	3356,160185
19,085	3154,674	4393,347	3354,229008
19,135	3143,594	4389,838	3360,832224
19,237	3161,776	4396,461	3358,278157
19,340	3168,665	4396,259	3354,878404
19,427	3173,455	4394,982	3358,46003
19,547	3181,357	4395,106	3359,164785
19,550	3184,612	4395,254	3354,207533

19,687	3172,871	4393,082	3354,572421
19,779	3182,966	4396,626	3355,44878
19,908	3183,249	4405,845	3360,529363
19,974	3191,300	4403,435	3359,383312
20,067	3190,864	4402,029	3356,358657
20,166	3182,885	4399,954	3353,769543
20,269	3169,409	4398,409	3353,841342
20,311	3166,117	4396,207	3355,078007
20,392	3174,050	4395,473	3354,484769
20,543	3197,919	4393,213	3353,937866
20,646	3181,381	4395,832	3353,600371
20,743	3167,481	4394,111	3349,551675
20,801	3150,170	4397,080	3350,815231
20,896	3133,191	4394,889	3348,603346
20,979	3133,154	4394,190	3341,991344
21,107	3132,237	4398,067	3338,615022
21,173	3127,197	4396,445	3335,761042
21,284	3134,377	4396,224	3332,591876
21,333	3141,220	4400,117	3334,676243
21,488	3129,931	4398,263	3333,490277
21,556	3138,473	4396,966	3326,287032
21,646	3136,145	4396,654	3322,501127
21,758	3140,382	4394,637	3318,743931
21,812	3140,091	4391,965	3316,03174
21,955	3138,689	4396,606	3312,394448
21,976	3129,288	4396,307	3311,23494
22,121	3131,884	4395,884	3309,120614
22,203	3138,239	4393,741	3305,724663
22,288	3148,871	4393,685	3299,257209
22,374	3151,962	4398,601	3304,17195
22,457	3145,490	4398,217	3302,781751
22,561	3138,865	4398,226	3304,696753
22,619	3142,728	4396,843	3301,314653
22,756	3152,179	4397,238	3303,88639
22,859	3163,251	4398,450	3296,452013
22,918	3163,248	4396,075	3303,044077
23,044	3166,356	4396,431	3301,586187
23,122	3154,235	4393,446	3300,579422
23,255	3134,512	4394,532	3300,570614
23,296	3133,860	4395,007	3302,273401
23,352	3127,563	4395,176	3300,023265
23,451	3136,703	4393,906	3302,538406
23,565	3148,806	4395,677	3300,994241
23,624	3158,474	4396,301	3301,87951
23,739	3149,483	4395,532	3301,987636
23,803	3152,440	4395,067	3301,93176
23,910	3145,997	4396,037	3299,824064
23,997	3167,091	4393,164	3295,466236

24,110	3153,400	4395,503	3298,602137
24,177	3146,205	4396,142	3298,589466
24,255	3149,441	4396,199	3299,980717
24,395	3150,501	4396,172	3299,500791
24,419	3156,364	4396,570	3299,706873
24,549	3174,152	4394,946	3295,753018
24,629	3175,687	4398,861	3296,056072
24,744	3184,466	4398,051	3297,910629
24,796	3191,607	4398,315	3297,397759
24,894	3185,951	4399,743	3299,324433
24,977	3195,979	4398,253	3295,099016
25,079	3190,632	4397,360	3294,779859
25,166	3176,966	4398,510	3292,723725
25,316	3165,221	4398,762	3293,854168
25,360	3154,732	4400,647	3295,094298
25,449	3138,842	4400,068	3296,549265
25,554	3153,756	4401,591	3298,046152
25,673	3158,102	4402,804	3298,02093
25,727	3179,499	4401,865	3297,957034
25,816	3176,007	4404,264	3301,025532
25,895	3174,769	4404,197	3299,698045
26,014	3178,133	4403,052	3302,676932
26,115	3183,138	4405,558	3300,25378
26,198	3191,085	4407,701	3304,611237
26,264	3201,715	4408,997	3302,47223
26,369	3204,620	4407,316	3309,531554
26,490	3208,710	4409,710	3311,218169
26,559	3231,129	4409,076	3311,680645
26,617	3227,513	4405,984	3312,203319
26,726	3244,549	4408,255	3314,850356
26,795	3257,045	4406,974	3312,660096
26,887	3258,021	4406,514	3313,01088
27,001	3258,017	4405,549	3311,568281
27,039	3257,256	4405,086	3313,266033
27,139	3253,303	4407,134	3315,0463
27,233	3255,272	4407,803	3314,365077
27,343	3259,627	4408,832	3310,679112
27,410	3271,268	4406,222	3315,484931
27,562	3279,377	4408,656	3309,984368
27,617	3277,836	4409,235	3311,229964
27,710	3270,641	4409,044	3310,974398
27,781	3267,578	4408,997	3316,901421
27,895	3269,457	4409,241	3317,422827
27,974	3285,901	4408,552	3318,401356
28,069	3290,245	4407,847	3319,5392

28,122	3295,855	4406,971	3320,775362
28,208	3305,353	4408,887	3324,018264
28,293	3303,860	4404,155	3326,873925
28,398	3323,252	4408,329	3327,398753
28,463	3326,375	4406,358	3303,292347
28,583	3312,848	4409,686	3314,148284
28,652	3320,867	4404,212	3307,890921
28,760	3306,263	4405,145	3310,432966
28,881	3285,526	4407,037	3307,497659
28,923	3290,441	4408,743	3312,169505
29,044	3295,177	4407,807	3316,092316
29,135	3298,190	4406,791	3325,467723
29,220	3293,130	4409,014	3322,24913
29,319	3289,312	4408,265	3327,518679
29,438	3286,362	4408,105	3334,026609
29,487	3278,300	4407,926	3333,128054
29,621	3273,185	4409,671	3331,879239
29,686	3274,820	4408,965	3331,253214
29,802	3258,732	4408,896	3331,864489
29,863	3246,046	4409,489	3333,147681
29,997	3239,484	4406,929	3335,685491
30,075	3225,345	4410,555	3336,41566
30,201	3232,237	4407,111	3337,521979
30,283	3245,127	4409,313	3341,379474
30,374	3243,995	4408,586	3341,084126
30,466	3249,466	4409,492	3340,681948
30,571	3252,263	4405,548	3341,031337
30,617	3230,595	4406,068	3343,530526
30,710	3245,092	4409,644	3343,560663
30,787	3239,697	4407,876	3343,857011
30,930	3243,820	4408,835	3341,814718
31,023	3245,970	4408,192	3340,814978
31,113	3248,749	4408,671	3342,759231
31,171	3237,291	4406,531	3345,378205
31,278	3247,513	4409,760	3346,024991
31,328	3264,309	4405,958	3343,778413
31,461	3276,670	4407,885	3339,487126
31,532	3272,712	4408,688	3340,038314
31,635	3268,035	4408,572	3341,252053
31,732	3266,857	4409,761	3341,638946
31,817	3259,495	4408,569	3342,624299
31,891	3261,091	4407,105	3341,944699
31,987	3261,857	4405,724	3343,298306
32,119	3249,988	4408,085	3345,859412
32,234	3253,304	4405,022	3346,582097
32,249	3251,339	4407,583	3345,909502
32,355	3232,666	4408,339	3347,582424
32,460	3233,588	4409,583	3352,396853

32,571	3239,762	4409,459	3353,704198
32,687	3242,759	4408,339	3354,571364
32,787	3250,601	4408,057	3353,289186
32,853	3254,767	4406,863	3352,323959
32,884	3251,068	4407,837	3350,503571
33,013	3256,303	4408,071	3356,223395
33,109	3260,860	4408,878	3354,020358
33,196	3266,617	4409,647	3355,404462
33,329	3262,727	4409,252	3353,532752
33,400	3249,837	4406,565	3351,827675
33,479	3233,208	4407,038	3353,888227
33,587	3224,414	4407,786	3355,972073
33,672	3212,504	4405,543	3353,952181
33,750	3222,217	4406,371	3356,643158
33,886	3212,034	4406,922	3356,038752
33,960	3208,210	4407,805	3359,176849
34,070	3208,305	4408,711	3360,200793
34,150	3194,763	4407,663	3360,791093
34,236	3215,040	4409,707	3365,920729
34,351	3216,095	4407,034	3366,668188
34,434	3225,794	4404,840	3368,494511
34,507	3235,740	4409,919	3369,545446
34,651	3235,468	4409,904	3371,158864
34,688	3228,457	4403,515	3369,557614
34,804	3229,968	4407,787	3371,420439
34,861	3236,490	4408,526	3370,05229
34,926	3253,537	4404,451	3373,67265
35,085	3249,092	4408,474	3374,416711
35,191	3246,271	4407,431	3371,56927
35,248	3238,960	4409,058	3375,350843
35,338	3239,939	4409,760	3378,484232
35,447	3244,391	4408,998	3376,445656
35,532	3257,192	4408,904	3378,895013
35,632	3261,504	4408,660	3379,716828
35,801	3253,190	4410,088	3380,422926
35,836	3252,853	4408,976	3375,220195
35,925	3243,769	4408,663	3379,742508
35,976	3249,602	4409,196	3376,62173
36,097	3259,224	4402,939	3380,186198
36,184	3256,360	4409,484	3378,635886
36,245	3260,717	4410,737	3381,435119
36,388	3260,268	4408,382	3383,58428
36,448	3247,873	4407,990	3384,361178
36,555	3250,590	4406,840	3385,58679
36,646	3252,566	4408,665	3383,398939

36,761	3263,303	4409,727	3384,315133
36,836	3265,866	4404,492	3391,119514
36,920	3256,806	4409,341	3391,556042
37,019	3259,325	4407,680	3389,842722
37,100	3263,199	4409,667	3393,067463
37,193	3262,473	4405,656	3392,239634
37,303	3262,086	4407,498	3390,840789
37,417	3252,556	4407,775	3389,381428
37,502	3247,930	4406,018	3392,968764
37,597	3253,135	4408,523	3394,798128
37,678	3240,422	4408,067	3400,863688
37,752	3245,796	4408,279	3400,558885
37,883	3253,958	4408,658	3407,358564
37,910	3259,022	4410,221	3410,285302
38,047	3266,404	4408,406	3413,378153
38,114	3276,832	4408,767	3414,474773
38,245	3282,399	4406,929	3415,95903