



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,

ARQUITETURA E URBANISMO

**Resistência à compressão não confinada de misturas de
solo-cimento visando à aplicação do sistema de
estabilização Dry-Mix**

Débora Regina Dias

Campinas

2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,

ARQUITETURA E URBANISMO

Débora Regina Dias

**Resistência à compressão não confinada de misturas de
solo-cimento visando à aplicação do sistema de estabilização Dry-Mix**

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Geotecnia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Miriam Gonçalves Miguel

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Gladis Camarini

Campinas

2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

D543r Dias, Débora Regina
Resistência à compressão não confinada de misturas de solo-cimento visando à aplicação do sistema de estabilização Dry-Mix. / Débora Regina Dias. -- Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientadores: Miriam Gonçalves Miguel, Gladis Camarini.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Solo - Cimento. 2. Mecânica do solo. 3. Argila. 4. Turfa. I. Miguel, Miriam Gonçalves. II. Camarini, Gladis. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Título em Inglês: Unconfined compressive strength in a soil-cement mixture for stabilization system Dry-Mix.

Palavras-chave em Inglês: Soil cement, Soil mechanics, Clay, Peat

Área de concentração: Geotecnia

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Antonio Ludovico Beraldo, Maria Lucia Galves

Data da defesa: 15/12/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Resistência à compressão não confinada de misturas de solo-cimento
visando à aplicação do sistema de estabilização Dry-Mix**


Débora Regina Dias

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



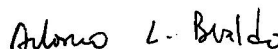
Profª. Dra. Miriam Gonçalves Miguel

Presidente e Orientador(a)/Universidade Estadual de Campinas



Profª. Dra. Maria Lucia Galves

Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo

Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 15 de dezembro de 2011

Dedicatória

A Deus, que sempre esteve ao meu lado, me confortando nas horas difíceis.

Aos meus pais, Vair e Regina, por toda educação, amor e dedicação. Sem eles nada eu teria conseguido.

Ao meu marido Alexandre, por todo amor e paciência, dedicados a mim, dando-me força nas horas difíceis.

À minha irmã Iria Maria Dias, minha melhor amiga e companheira, e pelos seus dois tesouros Ana Julia e Ana Carolina, que iluminaram meus dias difíceis com seus lindos sorrisinhos.

Agradecimentos

À Prof^a. Dr^a. Miriam Gonçalves Miguel, pela orientação desta dissertação, pelo apoio, paciência, por não desistir nunca, e pelos seus muitos ensinamentos e por sua amizade;

À Prof^a. Dr^a Gladis Camarini, pela co-orientação, atenção, ensinamentos e amizade;

Aos Professores do Departamento de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP;

Ao Prof.Dr. Antonio Ludovico Beraldo, FEAGRI/UNICAMP, pelas análises estatísticas e pela oportunidade de executar os ensaios de ultrassom, no laboratório de materiais da FEAGRI;

A Sra. Paulerman Maria da Conceição Mendes e aos demais funcionários da Secretaria de Pós Graduação da FEC/UNICAMP, pela dedicação e atenção;

Aos funcionários do laboratório de materiais, Jose Reinaldo Marçal, Ademir de Almeida e Rodolfo Bonamigo, pela dedicação, amizade, paciência e contribuições importantes para este trabalho;

Aos técnicos de laboratório do DGT da UNICAMP, José Benedito Cipriano, Reinaldo Benedito Leite da Silva e Luis Eduardo Meyer (in memorian);

Ao técnico André Rogers Campanholi do Laboratório de Materiais e Estruturas da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, pela dedicação e atenção;

Aos meus amigos da Unicamp, Marcella Scallet Dercoli, Julio César Beltrame Benatti, Fernanda Gon, que estiveram ao meu lado, ouvindo meus desabafos, e me dando apoio de alguma maneira.

Aos meus professores da FEI, Creso Peixoto e Valter Prieto, pelos ensinamentos e pelo encorajamento para eu prosseguir com meus estudos;

À empresa TECNOGEO, que forneceu todas as informações necessárias para continuidade deste trabalho, aos diretores Geraldo Guedes Andrade, Fábio Azem e Renato Barreira, pelo apoio e compreensão;

Ao meu Gerente e Amigo de empresa, Alexandre Novaes Lopes, pelo apoio, paciência e por seus ensinamentos;

A todos os meus amigos e companheiros de empresa: Quitéria Feitoza, por me fazer rir nas horas difíceis, à Elisangela Ramos, por seus conselhos, Pedro Paulo F. Gouvêa Filho, por sua paciência, Carlos Vivi, e a todos os outros que sempre estiveram ao meu lado.

Às minhas amigas e irmãs de infância, Karina Kakiuchi e Virna Muñoz, e minha amiga Célia Garibaldi, por me visitarem quando já não tinha mais tempo de sair de casa;

Aos meus sogros Lourdes R. Silva e José Marcos da Silva, pelo carinho;

Ao meu cunhado Alexsandro V. G. Verutti, pelo apoio e atenção;

Aos amigos Thaís e Justin Farrar, pelo apoio e dedicação, thanks! Enfim, a todos os meus amigos e familiares, que me apoiaram com carinho e conforto.

"Deus nos fez perfeitos, e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo, só depende de nossa vontade e perseverança."

- Eu sei como ele conseguiu.

Todos perguntaram: - Pode nos dizer como? .

- É simples, respondeu Einstein.

- Não havia ninguém ao seu redor, para lhe dizer que não seria capaz.

Albert Einstein

RESUMO

DIAS, DÉBORA REGINA. **Resistência à compressão não confinada de misturas de solo-cimento visando à aplicação do sistema de estabilização Dry-Mix.** Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, 2011.

Este trabalho vem contribuir com a técnica de tratamento de solos moles por meio do sistema de estabilização Dry-Mix, analisando parâmetros de resistência à compressão não confinada de corpos-de-prova, devidamente preparados com misturas plásticas de solo mole, aglomerante (cimento Portland) e água, em laboratório. O solo utilizado era oriundo da região da Baixada Santista, localizada no Estado de São Paulo. Duas diferentes dosagens de cimento, 100 e 200 kg de cimento por m³ de solo, além de dois diferentes tipos de cimento CP III e CP V, foram utilizadas neste estudo. Os corpos-de-prova foram ensaiados à compressão não confinada nas idades de cura de 7, 28, 90 e 180 dias, e submetidos aos ensaios de ultrassom, durante 28 dias. As dosagens inferiores a 100 kg de cimento por m³ de solo apresentaram resultados de resistência à compressão não confinada inferiores a 200 kN/m², não sendo recomendadas para o tratamento Dry-Mix. Os módulos de elasticidade apresentaram valores crescentes até a idade de 28 dias, indicando perda da rigidez após essa idade de cura. Nos ensaios de ultrassom, foram observados resultados significativos somente para os corpos-de-prova

com a dosagem de 200 kg de cimento por m³ de solo. Os resultados de resistência à compressão simples foram submetidos a uma análise estatística, na qual as médias dos resultados foram comparadas com o tipo de cimento, a dosagem, a quantidade de turfa e a idade dos corpos-de-prova, utilizando o teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade estatística. No geral, os melhores resultados ficaram por conta do cimento CP V – ARI, e com a dosagem de 200 kg de cimento por metro cúbico de solo.

Palavras-chave: Solo-cimento, Mecânica dos Solos, Argila, Turfa.

ABSTRACT

DIAS, DÉBORA REGINA. Unconfined compressive strength in a soil-cement mixture for Dry-Mix stabilization system.

This work focuses on contributing with the soft soil treatment through the use of Dry-Mix stabilization system, analyzing the parameters of unconfined compressive strength tests performed in specimens properly prepared with plastic mixtures of soft soil, binder (Portland cement) and water, in laboratory. The soil used was from Santos city, located in the state of São Paulo. Two different amounts of cement, 100 and 200 kg per cubic meter of soil, as well as two different kinds of cement: CP III and CP V cement were used in this study. The tests were conducted under unconfined compressive strength at ages 7, 28, 90 and 180 days and underwent ultrasound tests for 28 days. The amounts below 100 kg of cement per m^3 presented unconfined compressive strength results under 200 kN/m^2 , which are not recommended for Dry-Mix treatment. The modules of elasticity presented increasing numbers up to the age of 28 days, indicating rigidity loss after this age. In the ultrasound tests, significant results were observed only in the test with the amount of 200 kg of cement per soil m^3 . The simple unconfined compressive strength results underwent a statistic analysis, in which the result averages were compared according to the type of cement and amount, as well as the amount

of peat and the tests ages, by using the Tukey's range test at 95% of statistical probability. In general, the best results were presented by the CP V – ARI cement, with the amount of 200 kg cement per m³ of soil.

Keywords: Soil-cement, Soil mechanics, Clay, Peat.

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|---------------|
| Figura 3. 1 – Sistema Dry-Mix - Stabtec..... | 8 |
| Figura 3. 2 – Multimisturador acoplado ao braço da escavadeira | 9 |
| Figura 3.3 – Sistema completo com tanques de alimentação, escavadeira e multimisturador..... | 10 |
| Figura 3.4 – Esquema da câmara de ensaio triaxial | 12 |
| Figura 3.5 – Curva tensão x deformação axial..... | 14 |
| Figura 3. 6 – Diagrama de Mohr aplicado ao ensaio de compressão não confinada | 15 |
| Figura 3. 7 – Ferramenta para mistura seca | 19 |
| Figura 3. 8 – Vista da obra Sepetiba – RJ..... | 26 |
| Figura 3. 9 – Vista da obra em São Francisco do Sul – SC | 28 |
| | |
| Figura 4. 1 – Perfil de sondagem SPT do local de coleta de amostra..... | 38 |
| Figura 4. 2 – Coleta das amostras, de argila e turfa, em campo..... | 39 |
| Figura 4. 3 – Simulação de um perfil de Argila + 15% Turfa | 45 |
| Figura 4. 4 – Simulação de um perfil de Argila + 30% Turfa | 46 |
| Figura 4. 5 – <i>Misturador planetário</i> | 48 |
| | |
| Figura 5. 1 – Densificação dos corpos-de-prova através de mesa vibratória..... | 52 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | Página |
|---|---------------|
| Gráfico 6. 1 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 60 |
| Gráfico 6. 2 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 61 |
| Gráfico 6. 3 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 62 |
| Gráfico 6. 4 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias | 63 |
| Gráfico 6. 5 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 65 |
| Gráfico 6. 6 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 66 |
| Gráfico 6. 7 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 67 |
| Gráfico 6. 8 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias | 68 |
| Gráfico 6. 9 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 70 |
| Gráfico 6. 10 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 71 |
| Gráfico 6. 11 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 72 |
| Gráfico 6. 12 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias | 73 |
| Gráfico 6. 13 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 75 |
| Gráfico 6. 14 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 76 |
| Gráfico 6. 15 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 77 |
| Gráfico 6. 16 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias | 78 |
| Gráfico 6. 17 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 80 |
| Gráfico 6. 18 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 81 |
| Gráfico 6. 19 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 82 |
| Gráfico 6. 20 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias | 83 |
| Gráfico 6. 21 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 85 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 6. 22 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 86 |
| Gráfico 6. 23 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 87 |
| Gráfico 6. 24 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias | 88 |
| Gráfico 6. 25 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 89 |
| Gráfico 6. 26 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 90 |
| Gráfico 6. 27 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 91 |
| Gráfico 6. 28 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias | 92 |
| Gráfico 6. 29 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 93 |
| Gráfico 6. 30 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 94 |
| Gráfico 6. 31 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 95 |
| Gráfico 6. 32 – Tensão X Deformação Deformação – idade de 180 dias | 96 |
| Gráfico 6. 33 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 97 |
| Gráfico 6. 34 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 98 |
| Gráfico 6. 35 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 99 |
| Gráfico 6. 36 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias | 100 |
| Gráfico 6. 37 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 102 |
| Gráfico 6. 38 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 103 |
| Gráfico 6. 39 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 104 |
| Gráfico 6. 40 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias | 105 |
| Gráfico 6. 41 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 106 |
| Gráfico 6. 42 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 107 |
| Gráfico 6. 43 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 108 |
| Gráfico 6. 44 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias | 109 |
| Gráfico 6. 45 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias | 110 |
| Gráfico 6. 46 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias | 111 |
| Gráfico 6. 47 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias | 112 |
| Gráfico 6. 48 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias | 113 |
| Gráfico 6. 49 – Idade X Módulo de Elasticidade – Misturas argila com cimento | 116 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 6. 50 – Idade X Módulo de Elasticidade – Misturas Argila + 15% de turfa com cimento..... | 118 |
| Gráfico 6. 51 – Idade X Módulo de Elasticidade – Misturas Argila + 30% de turfa com cimento..... | 120 |
| Gráfico 6. 52 – Idade X Tensão para corpo-de-prova - Argila com dosagem de cimento 100 kg/m ³ | 122 |
| Gráfico 6. 53 – Idade X Tensão para corpo-de-prova | 123 |
| Gráfico 6. 54 – Idade X Tensão para corpo-de-prova | 124 |
| Gráfico 6. 55 – Idade X Tensão para corpo-de-prova | 125 |
| Gráfico 6. 56 – Idade X Tensão para corpo-de-prova | 126 |
| Gráfico 6. 57 – Idade X Tensão para corpo-de-prova | 127 |
| Gráfico 6. 58 – Relação entre resistência à compressão e velocidade de propagação da onda ultrassônica na mistura argila + 200 kg de cimento..... | 135 |
| Gráfico 6. 59 – Relação entre resistência à compressão e velocidade de propagação da onda ultrassônica na mistura argila + 15% turfa + 200 kg de cimento | 136 |
| Gráfico 6. 60 – Relação entre resistência à compressão e velocidade de propagação da onda ultrassônica na mistura argila + 30% turfa + 200 kg de cimento | 137 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|--|---------------|
| Tabela 4. 1 – Composição dos cimentos | 42 |
| Tabela 4. 2 – Quantidade de corpos-de-prova moldados | 43 |
| Tabela 4. 3 – Dosagens de cimento | 47 |
| | |
| Tabela 6. 1 – Caracterização geotécnica das amostras..... | 57 |
| Tabela 6. 2 – Análise química das amostras..... | 59 |
| Tabela 6. 3 – Resultados dos Módulos de Elasticidade (E) nas misturas com argila... | 115 |
| Tabela 6. 4 – Resultados dos Módulos de Elasticidade (E) nas misturas com argila + 15% de turfa | 117 |
| Tabela 6. 5 – Resultados dos Módulos de Elasticidade (E) nas misturas com argila + 30% de turfa | 119 |
| Tabela 6. 6– Comparação entre resultados de resistência à compressão não confinada das misturas | 128 |
| Tabela 6. 7 – Grupos e fatores analisados..... | 129 |
| Tabela 6. 8 – Resultados dos ensaios de ultrassom nas misturas com argila | 132 |
| Tabela 6. 9 – Resultados dos ensaios de ultrassom nas misturas com argila + 15% de turfa | 133 |
| Tabela 6. 10 – Resultados dos ensaios de ultrassom nas misturas com argila + 30% de turfa | 134 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | | |
|------------------|---|---|
| E | - | Módulo de elasticidade |
| e | - | Índice de vazios |
| N_{SPT} | - | Índices de resistência à penetração do ensaio SPT |
| S_u | - | Resistência não drenada de solos argilosos |
| C_u | - | Coesão não drenada de solos argilosos |
| kg | - | Quilograma |
| kgf | - | Quilograma força |
| kN | - | Quilo Newton |
| MPa | - | Mega Pascal |
| m^2 | - | Metro Quadrado |
| m^3 | - | Metro Cubico |
| \emptyset | - | Diâmetro |
| γ_{nat} | - | Massa específica natural |
| γ_d | - | Massa específica dos sólidos |
| ω | - | Dosagem de umidade natural |
| ε | - | Deformação axial |
| σ_c | - | Tensão confinante |
| RCNC | - | Resistência à compressa não confinada |
| τ | - | Tensão cisalhante |
| τ_m | - | Tensão cisalhante máxima |
| $\Delta\sigma_1$ | - | Tensão axial |
| σ_c | - | Tensão confinante |

LISTA DE ABREVIações

| | | |
|----------------|---|--|
| ABCP | - | Associação Brasileira de Cimento Portland |
| ABNT | - | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ARI | - | Alta Resistência Inicial |
| CD | - | Ensaio Adensado Drenado |
| CP | - | Cimento Portland |
| CU | - | Ensaio Adensado Não Drenado |
| DGT | - | Departamento de Geotecnia e Transportes |
| FEC | - | Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo |
| IP | - | Índice de Plasticidade |
| LL | - | Límite de Liquidez |
| LP | - | Límite de Plasticidade |
| NBR | - | Norma Brasileira |
| RS | - | Resistência a Sulfato |
| SAD | - | Sistema de Aquisição de Dados |
| SPT | - | Standard Penetration Test |
| UNICAMP | - | Universidade Estadual de Campinas |
| UU | - | Ensaio Não Adensado Não Drenado |

SUMÁRIO

| | Página |
|--|---------------|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 Objetivos | 5 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 5 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 5 |
| 2.3 ESTRUTURA DO TRABALHO | 6 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 7 |
| 3.1 SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO DRY-MIX | 7 |
| 3.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO TRIAXIAL | 11 |
| 3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA | 13 |
| 3.3.1 <i>Módulo de Elasticidade do Solo</i> | 16 |
| 3.4 SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO DRY-MIX | 17 |
| 3.4.1 <i>Monitoramento e Instrumentação</i> | 20 |
| 3.4.2 <i>Solo Tratado pelo Sistema de Estabilização Dry-Mix</i> | 21 |
| 3.4.3 <i>Compactação do Solo pelo Sistema de Estabilização Dry-Mix</i> | 22 |
| 3.4.4 <i>Estabilizador de Solo: Cimento Portland</i> | 23 |
| 3.4.5 <i>Água</i> | 23 |
| 3.4.6 <i>Ensaio de Ultrassom</i> | 24 |
| 3.5 EXEMPLOS DE OBRAS REALIZADAS NO BRASIL | 25 |
| 3.5.1 <i>Sepetiba – RJ</i> | 25 |
| 3.5.2 <i>Suzano – SP</i> | 27 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.5.3 | <i>São Francisco do Sul – SC</i> | 27 |
| 3.5.4 | <i>São Paulo – SP</i> | 28 |
| 3.6 | REAÇÕES DO SOLO COM O CIMENTO PORTLAND | 29 |
| 4 | Materiais e Métodos | 37 |
| 4.1 | MATERIAIS | 37 |
| 4.1.1 | <i>Coleta de Amostras de Solo em Campo</i> | 37 |
| 4.1.2 | <i>Caracterização Geotécnica – Turfa / Argila</i> | 39 |
| 4.1.3 | <i>Análises Químicas</i> | 40 |
| 4.1.4 | <i>Cimento</i> | 40 |
| 4.2 | MISTURAS EXPERIMENTAIS..... | 42 |
| 4.3 | DETERMINAÇÃO DAS DOSAGENS DE CIMENTO | 43 |
| 4.4 | DETERMINAÇÃO DOS PERFIS GEOLÓGICOS | 44 |
| 4.5 | DOSAGENS ESTUDADAS | 47 |
| 4.6 | HOMOGENEIZAÇÃO DAS AMOSTRAS..... | 48 |
| 4.6.1 | <i>Misturador Planetário</i> | 48 |
| 4.6.2 | <i>Misturas em Laboratório</i> | 49 |
| 5 | Moldagem dos Corpos-de-Prova para Realização dos Ensaios de Resistência à Compressão não Confinada..... | 51 |
| 5.1 | ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA..... | 53 |
| 5.2 | ANÁLISE ESTATÍSTICA | 53 |
| 5.3 | ENSAIOS DE ULTRASSOM | 54 |
| 6 | Apresentação e análise dos Resultados | 57 |
| 6.1 | CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA – TURFA / ARGILA MARINHA | 57 |
| 6.2 | ANÁLISES QUÍMICAS..... | 58 |
| 6.3 | ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA..... | 59 |
| 6.3.1 | <i>Ensaio 01 – Mistura: Argila + Dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo</i> | 60 |
| 6.3.2 | <i>Ensaio 02 – Mistura: Argila + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo</i> | 64 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 6.3.3 | <i>Ensaio 03 – Mistura: Argila + Dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo</i> | 69 |
| 6.3.4 | <i>Ensaio 04 – Mistura: Argila + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo</i> | 74 |
| 6.3.5 | <i>Ensaio 05 – Mistura: Argila + 15% Turfa + dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo</i> | 79 |
| 6.3.6 | <i>Ensaio 06 – Mistura: Argila + 15% Turfa + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo</i> | 84 |
| 6.3.7 | <i>Ensaio 07 – Mistura: Argila + 15% Turfa + Dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo</i> | 89 |
| 6.3.8 | <i>Ensaio 08 – Mistura: Argila + 15% Turfa + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo</i> | 93 |
| 6.3.9 | <i>Ensaio 09 – Mistura: Argila + 30% Turfa + Dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo</i> | 97 |
| 6.3.10 | <i>Ensaio 10 – Mistura: Argila + 30% Turfa + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo</i> | 101 |
| 6.3.11 | <i>Ensaio 11 – Mistura: Argila + 30% Turfa + Dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo</i> | 106 |
| 6.3.12 | <i>Ensaio 12 – Mistura: Argila + 30% Turfa + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo</i> | 110 |
| 6.4 | MÓDULO DE ELASTICIDADE | 114 |
| 6.5 | ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA – COMPARAÇÃO ENTRE DOSAGENS | 121 |
| 6.6 | ANÁLISES ESTATÍSTICAS | 128 |
| 6.7 | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA X CIMENTO | 129 |
| 6.8 | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA X TURFA | 130 |
| 6.9 | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA X DOSAGEM | 130 |
| 6.10 | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA X DOSAGEM | 131 |
| 6.11 | ENSAIO DE ULTRASSOM | 131 |

| | |
|----------------------------|-----|
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 139 |
| REFERÊNCIAS..... | 141 |
| APÊNDICE | 147 |

1 INTRODUÇÃO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na natureza, podem ser encontrados solos saturados com valores de resistência ao amostrador-padrão (N_{SPT}) do SPT (*Standard Penetration Test*) menores que 2. Tais solos são mais conhecidos como solos moles, sendo bastante comuns em regiões litorâneas. Muito comum ainda, nestas regiões, a ocorrência de s turfas, as quais são materiais de origem vegetal, parcialmente decompostos, geralmente encontrados em regiões pantanosas.

Quando se depara com a necessidade de se trabalhar sobre ou a partir de um solo mole, seja para um aterro rodoviário, ou para outro projeto geotécnico, existem dificuldades em se encontrar soluções que se mostrem economicamente viáveis.

Valores relativamente baixos de módulo de compressibilidade e de capacidade de carga dos solos moles os tornam inadequados para serem utilizados como suporte de aterros, fundações, e para serem escavados sem efetuar um tratamento prévio.

Na maioria das vezes, quando a engenharia se depara com solos com estas características, fundações profundas são utilizadas para atender aos critérios de dimensionamento e segurança em contrapartida às fundações rasas. Outras técnicas, dependendo do objetivo final da obra, podem ser utilizadas quando os prazos são curtos, o que acaba elevando o custo da obra.

Uma solução muito utilizada é a substituição do solo mole por material que possua maior capacidade de carga. A substituição de solo, às vezes, se torna inviável pelo custo e pela complexidade de execução, pois o material a ser substituído deve ser descartado, e um novo material para substituição deve ser transportado para o local.

Devido a estes problemas, houve a necessidade de desenvolver uma técnica econômica e ambientalmente mais aceitável para a estabilização de solos moles e turfas. Segundo Inglês e Metcalf (1972), quando se utiliza o solo em obras de engenharia, pode-se deparar com as seguintes situações:

- ✓ As características do solo encontradas *in situ* podem ser aceitas;
- ✓ O solo local pode ser removido e ser substituído por solo com características adequadas;
- ✓ As propriedades existentes no solo podem ser alteradas, criando um material com características exigidas.

Segundo Axelsson, Johansson e Anderson (2002), a técnica de estabilização de massas, desenvolvida recentemente, atende a esses requisitos. Estabilização de massa é uma técnica de reforço de solos em que os agentes de estabilização são misturados com a camada inteira do solo.

Tal problema é agravado nos países nórdicos, onde se encontram grandes regiões de ilhas, cujos solos possuem baixíssima resistência à compressão não confinada, necessitando de técnicas de estabilização de solos para efetuarem-se as construções.

Há mais de 20 anos, técnicas de estabilização de solos moles vêm sendo estudadas por meio de mistura de aglomerante seco injetado a altas pressões, conhecido como sistema Dry-Mix. Há pouco mais de 4 anos, este tipo de solução vem sendo adotada no Brasil, por uma única empresa que possui a técnica, e que vem adequando-a para a realidade brasileira, pois os estudos feitos nos países nórdicos não apresentam resultados compatíveis com aqueles encontrados em regiões de clima tropical, como o Brasil, por exemplo.

As dificuldades encontradas por esta técnica no Brasil têm sido:

a) a heterogeneidade de solo nos terrenos;

b) como a técnica ainda está sendo implantada, não existe ainda uma normatização ou guia de projeto realizado no Brasil; então, não se sabe ao certo quais são as características do solo brasileiro que deveriam ser estudadas mais profundamente;

c) aceitação do produto, pois quando se pensa em solo e aglomerante, este é relacionado com solo-cimento, e ainda para pavimentação, ou seja, um solo com classificação geotécnica conhecida. Porém, a técnica que estudada nesta pesquisa é aplicada para um solo de baixa capacidade de suporte, solos moles e turfas, os quais possuem características físicas e químicas desconhecidas e encontram-se fora do padrão de solo usual no trato, utilizando a técnica de solo-cimento. Logo, o que se pode esperar, são aplicações das técnicas como troca ou a remoção do solo.

No Brasil, são encontrados apenas estudos de laboratório que façam referência à melhoria de solos moles com mistura de aglomerante (cimento Portland), porém existem algumas obras que se utilizaram da técnica para melhoria do terreno, para ganho na capacidade de carga ou como melhoria da camada de solo mole para escavação.

Outras técnicas também existem, porém apresentam alto custo, e são utilizadas apenas em casos em que a remoção ou a troca de solo não seja viável, devido à grande espessura da camada de solo mole. Então, a dificuldade de se inserir a melhoria com cimento acaba sempre se relacionando com troca de solo, pois a camada máxima de tratamento do sistema Dry-Mix é de 6 m de profundidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo contribuir com a avaliação do desempenho da técnica de tratamento de solos moles por meio do sistema de estabilização Dry-Mix no Brasil, mediante análise de parâmetros de resistência à compressão não confinada de um solo mole, após ser tratado com cimentos Portland CP III e CP V.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estudar parâmetros de resistência à compressão não confinada em laboratório, bem como os procedimentos das análises realizadas preliminarmente à aplicação do sistema de estabilização Dry-Mix;
- b) Comparar os resultados dos ensaios de resistência à compressão não confinada obtidos com os diferentes tipos e dosagens de aglomerante – cimento Portland;
- c) Avaliar o ganho de resistência à compressão não confinada em cada idade, com o acréscimo do cimento ao solo;
- d) Avaliar os resultados e diferenças entre o módulo de elasticidade deste solo após o tratamento;
- e) Estudar a influência das dosagens e do tipo de cimento nas misturas de solo-cimento com relação à resistência à compressão não confinada;

2.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em capítulos para facilitar a compreensão e acompanhamento do estudo realizado.

No Capítulo 3, encontra-se um breve relato sobre a descrição da técnica de tratamento de solos, através do sistema de estabilização Dry-Mix.

Os objetivos do trabalho, geral e específico, também são abordados no Capítulo 2 e expressam a razão de se realizar o trabalho, e o que se pretende avaliar com os resultados e experimentos executados no decorrer da pesquisa.

Todo o conteúdo teórico desta pesquisa encontra-se estruturado no Capítulo 3, denominado Revisão Bibliográfica. Este capítulo faz um levantamento de trabalhos técnico-científicos que empregaram a técnica de estabilização, como tratamento de solos moles.

Os Materiais e Métodos são apresentados no Capítulo 4. Este capítulo apresenta a forma de se executar a pesquisa, com o detalhamento dos componentes de laboratório e de campo, utilizados para que se pudesse chegar aos resultados finais.

A Apresentação e Análise dos Resultados encontram-se no Capítulo 6. Assim, apresentam-se e analisam-se os resultados dos ensaios de laboratório. São utilizados para isso gráficos, tabelas, etc., ou seja, todo o conteúdo necessário para a apresentação e análise dos resultados obtidos em laboratório.

As Considerações Finais são apresentadas no último capítulo, em que se abordam as Conclusões deste estudo bem como sugestões para o seu prosseguimento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, é feita uma revisão dos principais trabalhos considerados como base para o desenvolvimento desta pesquisa, que trata de uma técnica para melhoria de solos moles. Buscando a literatura técnico-científica, muito facilmente encontram-se artigos, teses, dissertações e livros a respeito de solo-cimento para pavimentação. De acordo com ABCP (1960), o solo utilizado no desenvolvimento do tratamento solo-cimento é aquele que possui teores de areia de 45% a 50% com relação à massa seca de solo, sendo que os solos que contêm matéria orgânica em sua composição não podem ser utilizados. Porém, na literatura internacional encontraram-se diversos artigos, teses e dissertações a respeito do sistema Dry-Mix, que tratam justamente destes solos, com matéria orgânica em sua composição. Portanto, é neste sentido que este trabalho se desenvolve, isto é, apresentando um sistema que trata estes solos moles e orgânicos, e os torna aptos a receberem esforços devido às construções civis e pavimentação. São abordados, então, o sistema de estabilização Dry-Mix e os solos nos quais esse sistema pode ser aplicado e como o solo é melhorado com a adição de estabilizador (cimento Portland).

3.1 SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO DRY-MIX

O Sistema de estabilização Dry-Mix consiste na mistura mecânica e monitorada de aglomerantes em pó com solos moles, do tipo argilas orgânicas, turfas, solos dragados, solos moles contaminados, etc. Estes solos deverão estar sempre na condição saturada, submersos no lençol freático, condição importante para auxiliar na reação dos materiais (solo e água) com o cimento, gerando a estabilização da massa e capacitando o terreno para absorção de tensões, devido a carregamentos, condição inadmissível no caso do terreno natural (EuroSoilStab, 2002).

A mistura mecânica de aglomerantes e solo com o misturador, o qual possui um injetor para alimentar o aglomerante, conduz ao procedimento de estabilização Dry-Mix.

A Figura 3.1 ilustra a tecnologia de estabilização em massa de solos moles, indicando os principais equipamentos necessários para que se realize o tratamento (escavadeira, alimentador e multimisturador), bem como a possibilidade de se tratar novas faixas de solo diariamente.



Figura 3.1 – Sistema Dry-Mix - Stabtec
Fonte: (Andrade, 2010)

Após a fase de estudos e definido o aglomerante, estabelecem-se os parâmetros da mistura, como consumo de material, pressão e vazão do ar comprimido, além do tipo de veículo para o transporte do aglomerante.

O multimisturador, acoplado ao braço da escavadeira, como mostra a Figura 3.2, recebe, por meio de mangote conectado ao misturador, o aglomerante em pó, que é injetado no solo com auxílio de ar comprimido. Bicos injetores dispostos em pás rotativas promovem a mistura do aglomerante com o solo mole.



Figura 3. 2 – Multimisturador acoplado ao braço da escavadeira
Fonte: (arquivo pessoal)

Em campo, devido às características do solo, é necessário se criar aterros de ponta ou de conquista, que garantam o suporte e locomoção, principalmente da escavadeira, até a borda ou bolsão de solo a ser tratado.

O aglomerante em pó é armazenado em tanques pressurizados, sobre esteiras hidráulicas, denominados de alimentadores de aglomerantes, e é bombeado até o multimisturador em dosagens previamente estabelecidas na fase de elaboração do projeto.

O conjunto de alimentação possui dois tanques independentes para evitar paralisações dos serviços, pois permite que, enquanto um deles seja abastecido, o outro continue a operar normalmente. O sistema completo é apresentado na Figura 3.3.



Figura 3. 3 – Sistema completo com tanques de alimentação, escavadeira e multimisturador
Fonte: (arquivo pessoal)

Todo o processo de dosagem, bombeamento e mistura do aglomerante com o solo mole é controlado pelo Sistema de Aquisição de Dados (SAD). Esse sistema fica instalado na cabine de comando da escavadeira, informando em tempo real, o desempenho do serviço em execução.

Assim, o operador da escavadeira, capacitado também como técnico de injeção, controla todo o serviço, bem como a locomoção dos tanques alimentadores, que acompanham a escavadeira junto aos pontos de aplicação do tratamento.

Os serviços de estabilização de solos moles são executados por áreas de aproximadamente 4,0 m x 4,0 m, com sua respectiva profundidade, que pode ser no máximo de 6 m, ajustados no sistema de aquisição de dados, que estabelece os procedimentos de controle dos serviços.

A mistura do solo mole com o aglomerante é executada em movimentos contínuos, repetidos, descendentes, ascendentes e laterais do multimisturador no interior do solo mole.

3.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO TRIAXIAL

De acordo com Pinto (2002), o ensaio consiste basicamente na colocação de um corpo-de-prova de solo cilíndrico dentro de uma câmara de ensaio, como mostra a Figura 3.4, envolto por uma membrana de borracha. A câmara é preenchida com água aplicando-se uma pressão confinante no corpo-de-prova que atua em todas as direções, inclusive na vertical. O carregamento axial é feito por meio da aplicação de forças em um pistão que é introduzido na câmara, caso de ensaio com carga controlada, ou pela prensa que a câmara desloca para cima pressionando o pistão, caso do ensaio de deformação controlada. A carga é medida por meio de um anel dinamométrico colocado externamente ou por uma célula de carga intercalada no pistão.

A força normal que é aplicada ao corpo de prova pelo pistão axial, dividida pela seção transversal do corpo de prova e somada a σ_c , tensão confinante, corresponde à tensão axial $\Delta\sigma_1$.

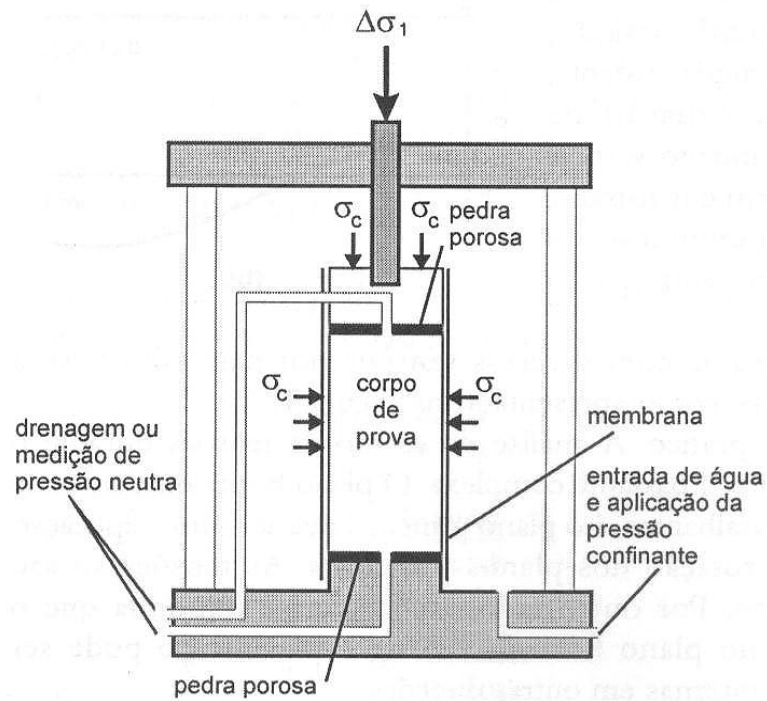


Figura 3.4 – Esquema da câmara de ensaio triaxial
Fonte: (PINTO, 2002)

Segundo Hachich et al. (1998), o ensaio pode ser executado de maneiras distintas: quanto às condições de drenagem: ensaio adensado drenado (CD), ensaio não adensado não drenado (UU), e ensaio adensado não drenado (CU); quanto às condições de carregamento: ensaio de compressão por carregamento, ensaio de compressão por descarregamento, ensaio de extensão por carregamento e ensaio de extensão por descarregamento.

3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA

De acordo com Pinto (2002), o ensaio de resistência à compressão não confinada consiste na compressão axial de um corpo-de-prova cilíndrico de solo, moldado ou compactado, com tensão confinante (σ_c) igual a zero. De modo geral, pode-se dizer que este ensaio é um esforço axial, que tende a provocar a ruptura do corpo-de-prova submetido a este esforço.

Neste ensaio, a carga é aplicada em uma única direção, dando liberdade ao corpo-de-prova para deformarem-se nas demais direções sem qualquer restrição. Os ensaios de resistência à compressão não confinada seguem os procedimentos da norma NBR 12770 (1992).

Os valores resultantes da aplicação deste ensaio correspondem à resistência de solos coesivos em termos de tensões totais. Este tipo de ensaio se aplica a solos coesivos que não expulsam água durante a fase de carregamento do ensaio e que retêm uma resistência após o alívio das pressões confinantes de campo, tais como argilas ou solos cimentados saturados.

Registrando-se as tensões axiais atuantes no plano horizontal (carga dividida pela área da seção transversal) pela deformação axial, ϵ , obtém-se a curva tensão x deformação axial, como mostra a Figura 3.5:

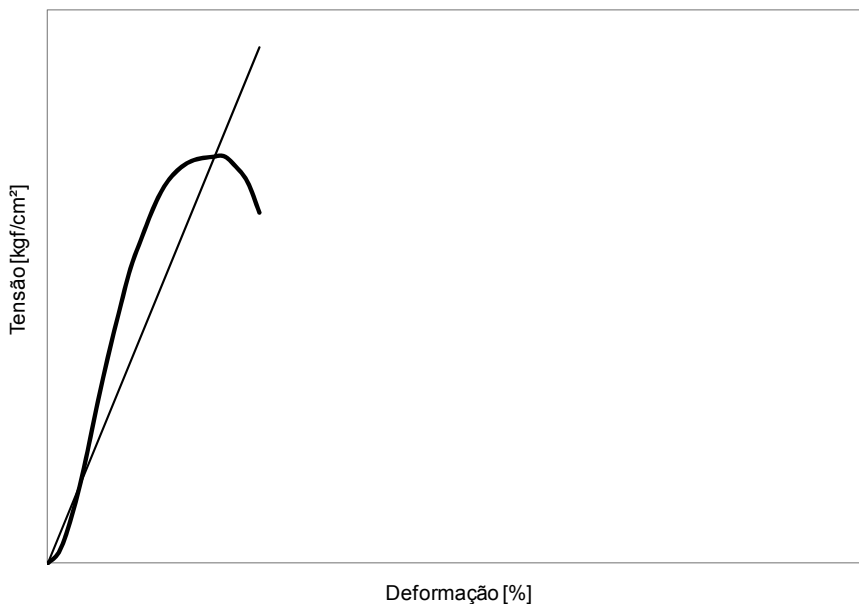


Figura 3.5 – Curva tensão x deformação axial
Fonte: (arquivo pessoal)

O carregamento é efetuado com deformação controlada. O anel dinamométrico é utilizado para determinar os esforços aplicados, e, para leitura de deslocamento, deve ser utilizado um relógio comparador. Os valores de carga, deslocamento e tempo devem ser registrados com intervalos adequados para definir a forma da curva tensão-deformação. O carregamento deve prosseguir até que os valores de carga aplicada diminuam com a evolução dos deslocamentos.

O ensaio de resistência à compressão não confinada é um caso especial do ensaio triaxial, não consolidado e não drenado, no qual a tensão confinante é nula ($\sigma_c = 0$). Este ensaio é utilizado para determinar a resistência não drenada de solos argilosos (τ_u). O valor da tensão axial que provoca a ruptura do corpo de prova é denominado de resistência à compressão não confinada (RCNC).

Em solos puramente coesivos, a coesão não drenada (C_u) é igual à metade da resistência à compressão não confinada obtida do diagrama de Mohr, conforme se representa na Figura 3.6. Esta resistência é devida à eventual cimentação, que geralmente varia pouco com a umidade. É natural, portanto, que a resistência à compressão diminua à medida que a umidade do solo aumente.

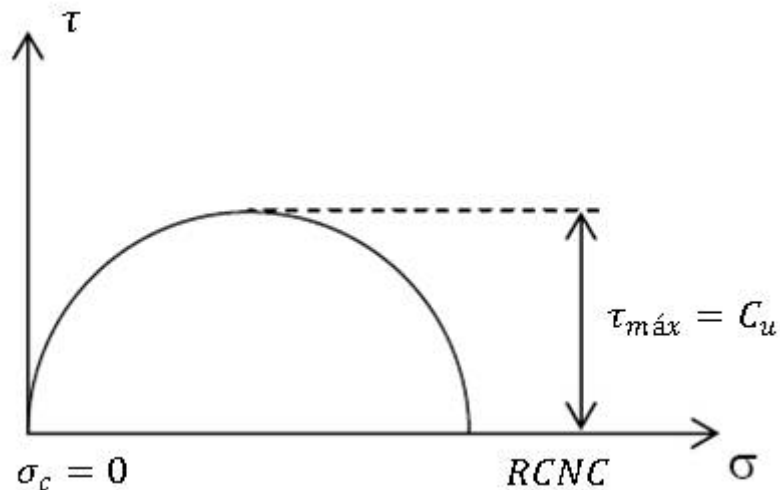


Figura 3. 6 – Diagrama de Mohr aplicado ao ensaio de compressão não confinada
Fonte: (arquivo pessoal)

Onde:

σ_c = tensão confinante

RCNC=resistência à compressão não confinada

τ = tensão cisalhante

$\tau_{\text{máx.}}$ = tensão cisalhante máxima

3.3.1 Módulo de Elasticidade do Solo

O solo não é um material elástico, mas admite-se freqüentemente um comportamento elástico-linear para o solo, definindo-se um módulo de elasticidade, E, para certo valor de tensão. Na Figura 3.1, é representado, o método tangencial para obtenção do módulo de elasticidade. A tangente do módulo de elasticidade é a inclinação do diagrama de tensão-deformação em qualquer ponto. O módulo de elasticidade é calculado através da expressão (3.1):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.1)$$

Onde:

E = módulo de elasticidade;

σ = tensão aplicada;

ε = deformação elástica longitudinal do corpo de prova (equação 4.2).

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3.2)$$

A deformação utilizada para estes cálculos foi retirada direto da medição do equipamento.

O módulo de elasticidade do solo depende da pressão a que o solo está confinado. Tal fato mostra como é difícil estabelecer um módulo de elasticidade para um solo, pois, na natureza, ele está submetido a confinamentos crescentes com a profundidade.

O Módulo de Elasticidade tem a sua importância ligada à análise de comportamento do solo, para cálculos de deformação, adensamento da camada tratada. Também se deve conhecer este parâmetro para avaliações numéricas.

Existem três possibilidades para a definição do módulo de elasticidade: módulo tangente, que é obtido por meio da derivada à curva tensão-deformação; módulo secante, obtido por uma reta, passando pela origem, secante à curva tensão deformação; e módulo tangente na origem, obtido por meio de uma reta, passando pela origem, tangente à curva tensão-deformação. Das três relações, as duas últimas são as mais usuais.

3.4 SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO DRY-MIX

O sistema de estabilização Dry-Mix, para tratamento de solos moles, tem sua utilização desde meados dos anos 1970. Esta técnica trouxe à engenharia geotécnica possibilidades de otimização no que se refere à melhoria de solos moles, em projetos geotécnicos atuais, além disso, esta é uma técnica muito favorável nos âmbitos econômico e técnico.

De acordo com Bredenberg, Holm e Brons (1999), o tratamento com a tecnologia de mistura, *in situ*, utilizando um aglomerante a seco, já tem mais de 40 anos. Em meados dos anos 1960, iniciaram-se pesquisas de campo e de laboratório na Suécia e no Japão, para que fosse desenvolvida uma técnica de tratamento para solos moles. Na Finlândia estas pesquisas também foram iniciadas há algumas décadas.

A mistura do solo é conduzida por mistura de aglomerantes em forma de pó (para mistura a seco).

O equipamento para mistura em massa, mostrado na Figura 3.7, está tipicamente ligado ao braço de uma escavadeira sob esteira. O aglomerante é fornecido de uma unidade separada que abriga os silos de aglomerantes, compressor, secador de ar e instrumentação de controle de fornecimento. A máquina de mistura em massa pesa tipicamente cerca de 20 t e possui uma altura de até 7 m.

A ferramenta de mistura típica, usada no sistema de estabilização Dry-Mix, é apresentada na Figura 3.7. Normalmente, estas ferramentas consistem em um bico único para fornecimento do aglomerante, e uma lâmina de corte horizontal e curvada ou angular, medindo cerca de 800 mm de diâmetro. Elas se parecem com uma hélice de navio, e apresentam um bico para fornecimento de aglomerante no centro, em um braço controlado hidráulicamente. Isso permite que o ângulo da hélice e sua profundidade sejam alterados pelo operador de máquinas para completar a mistura.



Figura 3. 7 – Ferramenta para mistura seca

Na mistura seca, o ar comprimido usado para fornecer o aglomerante para a ferramenta de mistura simplesmente exaure no bico da ferramenta, deixando o aglomerante desaparecer através dos vazios e fissuras no solo. Isto, às vezes, causa uma lixiviação temporária da superfície do solo. Uma lixiviação de 5 a 10 cm não é incomum em trabalhos de construção em argila mole.

A tecnologia de estabilização de massa de solos é relativamente nova. Um bloco, de até 6 m de profundidade, é completamente misturado, *in situ*, com um aglomerante seco transportado por ar comprimido. Esta técnica é bem adequada para a estabilização de solos orgânicos, como por exemplo, turfa e argilas orgânicas.

Quando a quantidade prescrita de aglomerante é misturada no volume de solo a ser tratado, a mistura prossegue movendo a hélice em rotação por meio da mistura solo-aglomerante, para se obter uma mistura homogênea. Este processo leva normalmente 1 hora para tratar cerca de 100 m³ de solo. A pós-mistura do volume de solo é muito importante, pois uma estrutura de solo não homogeneizada pode se transformar em grandes porções de um material muito rígido, cercado por solo mole, remoldado e não tratado.

A sequência da técnica de estabilização Dry-Mix é realizada em divisões denominadas células, dentro do raio de operação da máquina. Desta forma, várias células podem ser tratadas sequencialmente, realizando-se um programa de tratamento e permitindo o aumento da produção.

3.4.1 Monitoramento e Instrumentação

É evidente que a instrumentação para um monitoramento cuidadoso do processo de estabilização é muito importante. A quantidade de aglomerante injetado em certo volume de solo, assim como a geometria e homogeneidade do volume de solo estabilizado, deve ser avaliada por medições indiretas de uso de aglomerantes.

A diminuição do peso do tanque de armazenamento é normalmente usada como uma medida de consumo do aglomerante. O monitoramento contínuo do peso deste tanque é normalmente realizado por meio de transdutores de carga. Esta diminuição no peso é um dos principais parâmetros do monitoramento do processo. Outro parâmetro é a profundidade do bico exaustor, que é normalmente medida por meio de um transmissor que fornece um número fixo de pulsos digitais.

Outros sinais usados para monitorar o processo são a velocidade da rotação da ferramenta de mistura, a velocidade de elevação e o torque do motor. O valor desses parâmetros é obtido da instrumentação do controle das máquinas. Todos os sinais de entrada são processados e apresentados em um *display* para o operador, podendo ser armazenados em meio magnético.

3.4.2 Solo Tratado pelo Sistema de Estabilização Dry-Mix

Os solos que, geralmente, são tratados pelo sistema de estabilização Dry-Mix, são solos moles, em condição saturada, ou seja, abaixo do nível do lençol freático. Exemplos destes solos abordados neste trabalho são as argilas marinhas e turfas.

As argilas de origem marinha são típicas de regiões de planícies costeiras. Os fatores que afetam a deposição ou sedimentação destes materiais são: velocidade das águas, quantidade e composição da matéria em suspensão na água, salinidade e floculação das partículas, e a presença de matéria orgânica (húmus, detritos vegetais, conchas, etc.). De acordo com Massad (2003), esses solos são encontrados na planície litorânea brasileira, praticamente em toda a costa.

Turfa é um sedimento carbonoso, acumulado em locais onde as taxas de atividade de micro-organismos (bactérias e fungos) foram diminuídas devido à baixa temperatura, como ocorre em regiões de clima frio. Depósitos de turfas são encontrados associados com a última glaciação do Holoceno, mediante redução das áreas permanentemente geladas que produziram depressões topográficas ou lagos rasos, com chuvas abundantes e bem distribuídas, onde as baixas temperaturas retardam a decomposição de plantas rasteiras e arbustos. Destacam-se os depósitos de turfa da Sibéria, Finlândia, Canadá e Alaska (SUGUIO, 2003).

3.4.3 Compactação do Solo pelo Sistema de Estabilização Dry-Mix

Segundo Pinto (2002), em 1933, o engenheiro Ralph Proctor definiu que o fenômeno da compactação de um solo consiste basicamente na redução de seu índice de vazios, obtido por meio da ação de uma força mecânica. A compactação expulsa bolsões de ar contidos na amostra de solo. Quanto mais bem homogeneizada e compactada for à amostra de solo, maiores serão os resultados de ganho na resistência à compressão não confinada.

De acordo com Pitta (1985), quando se trata de um solo argiloso, pode-se assimilar a reação mais lenta com o cimento, pois maior é a sua tendência à retração, que é altamente relacionada à umidade no momento da compactação. Segundo este autor, a dosagem de umidade para o tratamento de solo-cimento deve ser pouco inferior à umidade ótima.

As massas específicas naturais da argila mole e da turfa são muito baixas. Os vazios são muito grandes e preenchidos em sua maioria com água. Para estabilização, esta água deve ser substituída por um aglomerante, que é, normalmente, o cimento Portland.

Quando o número de vazios diminui, há um aumento de resistência à compressão não confinada do solo. A eficácia da estabilização com cimento Portland pode ainda depender de como ocorre à compactação do material.

A compactação do solo tratado por meio do sistema de estabilização Dry-Mix é realizada utilizando o peso do próprio equipamento, além do peso do aterro controlado executado na finalização dos serviços, o que ajudará no seu assentamento.

3.4.4 Estabilizador de Solo: Cimento Portland

Estabilizadores de solo são materiais com propriedades hidráulicas. No caso de estabilização de solo (Dry-Mix), emprega-se o cimento Portland.

Segundo Inglês e Metcalf (1972), qualquer tipo de cimento pode ser utilizado na mistura para o tratamento do solo nesse sistema. Nos solos orgânicos, o cimento Portland de alta resistência inicial (ARI) pode ser o mais adequado, pois este tipo de cimento apresenta maiores teores de silicatos de cálcio, permitindo uma reação de hidratação mais rápida, não sendo afetado em demasia pela presença de substâncias inibitórias à hidratação, normalmente encontradas na matéria orgânica.

3.4.5 Água

De acordo com Inglês e Metcalf (1972), a utilização da água potável nas misturas pode ser uma alternativa viável e satisfatória, desde que a quantidade seja aquela necessária para hidratação do cimento. Não existem exigências para quantidades de água, ou seja, deve ser estudada a quantidade mais adequada de água a ser acrescentada dependendo do tipo de solo a ser tratado.

Segundo Axelsson, Johansson e Anderson (2002), misturas de solo-cimento muito secas podem comprometer o resultado da resistência à compressão não confinada, pois quando a mistura se torna quebradiça e de difícil compactação, pode-se prejudicar a sua cimentação da mesma. Sendo assim, quando isso ocorre, deve-se acrescentar água à mistura, a fim de se chegar ao mais próximo possível do resultado de campo, onde o solo, para este tipo de tratamento, encontra-se saturado.

3.4.6 Ensaio de Ultrassom

O ensaio ultrassônico baseia-se no fenômeno de reflexão de ondas acústicas quando encontram obstáculos à sua propagação, dentro do material. A onda será refletida retornando até a sua fonte geradora, se o obstáculo estiver numa posição normal (perpendicular) em relação ao feixe incidente.

O ultrassom é o método de ensaio não destrutivo que, segundo Bauer (2000), pode ser útil na investigação de falhas, trincas ou fissuras e de resistência de um corpo-de-prova. Porém, ele não pode substituir os ensaios tradicionais como, por exemplo, de resistência à compressão não confinada. No entanto, ele possui sua importância, pois mediante este ensaio, é possível estudar a evolução de cada corpo-de-prova nas diferentes idades e identificar possíveis patologias durante o progresso de cura.

Segundo Jones (1953), o ensaio de ultrassom emite ondas acústicas com frequências acima do limite audível. Normalmente, as frequências ultrassônicas situam-se na faixa de 0,5 a 25 MHz. O pulso ultrassônico é transmitido para o material utilizando um transdutor. Os pulsos ultrassônicos refletidos são captados pelo transdutor e convertidos em sinais eletrônicos.

O método baseia-se no fato de que a velocidade de propagação está ligada à qualidade do compósito. Conhecendo-se a distância entre o transdutor emissor e o transdutor receptor da onda ultrassônica e medindo-se o tempo decorrido para este percurso, calcula-se a velocidade de propagação da onda no compósito.

A velocidade da onda depende principalmente do módulo de deformação e massa específica, entre outros. Um problema que pode influenciar nos resultados é a presença de fissuras, vazios ou descontinuidades no concreto.

3.5 EXEMPLOS DE OBRAS REALIZADAS NO BRASIL

3.5.1 Sepetiba – RJ

Durante a construção um novo complexo siderúrgico na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, o sistema de estabilização Dry-Mix foi utilizado nesta obra com a finalidade de estabilização de escavações, melhoria de fundações, tratamento prévio para escavações de canais, entre outras. A Figura 4.5 apresenta o trabalho em campo.



Figura 3. 8 – Vista da obra Sepetiba – RJ
Fonte: (arquivo pessoal)

Nesta obra foram tratados 110.000 m³ de solo mole, tendo profundidade máxima de tratamento igual a 6 m. A dosagem de cimento utilizada para esta obra foi de 90 a 150 kg/m³, dependendo da finalidade do tratamento.

3.5.2 Suzano – SP

Neste local, o objetivo do tratamento de estabilização Dry-Mix, além da estabilização global do solo mole, era o de dispensar a necessidade de troca de solo, que poderia acarretar em complicações com os órgãos do meio ambiente, pois esta obra encontra-se em uma área de várzea, cujo entorno é originalmente ocupado por indústrias, principalmente do setor de papel e celulose. Foram tratados no total 31.000 m³ de solo mole com profundidade média de tratamento de 2,52 m, com dosagem de cimento para o tratamento de 250 kg por m³ de solo.

3.5.3 São Francisco do Sul – SC

No município de São Francisco do Sul – SC, em uma obra de expansão portuária, foi realizado o tratamento com o sistema de estabilização Dry-Mix, com objetivo de criar retro-área para depósito de containers, sobre solo mole depositado por draga. Neste caso, foram tratados 18.500 m³ de solo mole, com profundidade máxima de 6,0 m, utilizando uma dosagem de cimento de 120 kg por m³ de solo. A execução dos trabalhos de tratamento do solo é mostrada na Figura 3.9.



Figura 3.9 – Vista da obra em São Francisco do Sul – SC
Fonte: (arquivo pessoal)

3.5.4 São Paulo – SP

O projeto de estabilização do solo nas margens da represa Billings se deu pela necessidade de uma alternativa para a implantação de uma ensecadeira ao redor da área em questão, que serviria como barreira para a retirada e troca do solo no local.

Esta alternativa se tornou inviável por questões ambientais, restando como uma alternativa exclusiva, o sistema de estabilização Dry-Mix. Nesta obra foram utilizados 6.000 m³ de solo tratado com dosagem de cimento de 200 a 360 kg por m³ de solo.

O tratamento com finalidade estrutural que teve consumos elevados na Billings, foi em consequência de contaminação do solo que afetava a pega.

3.6 REAÇÕES DO SOLO COM O CIMENTO PORTLAND

Diversos trabalhos têm sido realizados para tornar viável a utilização de misturas de solo com aglomerantes, sejam eles cimento, cal, escória, dentre outros.

A estabilização de solos é o processo pelo qual se confere ao solo uma maior resistência a cargas ou à erosão, por meio de compactação, correção granulométrica, plasticidade ou de adição de substâncias que lhe permitam uma coesão proveniente da cimentação ou da aglomeração de suas partículas (VARGAS, 1977).

Inglês e Metcalf (1972) definiram estabilização de solos como sendo a aplicação de processos e técnicas que visam à alteração das propriedades mecânicas desses materiais, como o aumento da resistência à compressão não confinada, rigidez e durabilidade, além da redução da condutividade hidráulica.

Ahnberg (2006) relatou, em seus estudos, novas técnicas de estabilização de solos moles, através do tratamento com cimento. Citou ainda que estas técnicas têm sido muito utilizadas nas últimas décadas, e que na Suécia são usadas para a redução de recalques e para o aumento da resistência à compressão não confinada do solo.

Observa-se, então, que a estabilização de solos nada mais é do que a alteração das características iniciais do solo, de maneira adequada, para cumprir com as exigências em sua utilização.

Nuñez (1991) diferenciou solo estabilizado de solo melhorado. Solo estabilizado é uma mistura de solo e aditivo com melhorias em sua durabilidade e resistência à compressão não confinada; já o solo melhorado é uma mistura que sofreu alterações em suas propriedades mecânicas, mas suas características não apresentam sempre grandes melhorias em relação à sua resistência à compressão não confinada.

Inglês e Metcalf (1972) defenderam a ideia de que as características dos solos têm importância na reação do cimento, ou seja, a estabilização do solo depende mais da reação do cimento do que da compactação após o tratamento.

Thomé (1994) abordou o tratamento de solos moles com o aglomerante cal. Em seu trabalho, o autor relatou a experiência de estudo das características da tensão cisalhante x deformação do solo – cal. O ensaio de resistência à compressão não confinada evidenciou o efeito positivo do aumento da dosagem de cal e em relação ao tempo de cura. Thomé (1994) ainda citou que adotou o método de Eades e Gnim (1966); porém, para que comparações fossem realizadas, o autor acrescentou em seu trabalho duas novas dosagens, inferiores às aquelas citadas no método adotado de Eades Gnim (1996).

A interação química e física de solos com materiais estabilizadores ocorre de tal forma que não é possível prever, para um determinado local, qual estabilizador e qual dosagem fornecerão melhores resultados. O efeito da dosagem de cimento na resistência do solo estabilizado, testado em laboratório, é evidente (Inglês e Metcalf, 1972).

Axelsson, Johansson e Anderson (2002) elaboraram uma pesquisa utilizando dois diferentes tipos de solo: solo mole argiloso e turfa, com adição de cal, de cimento, de escórias, e de misturas desses aglomerantes. Os resultados variaram de acordo com as diferentes misturas. O cimento de alta resistência inicial mostrou melhor desempenho em solos orgânicos, seguido do cimento misturado com escória granulada de alto forno. A cal mostrou um resultado inadequado, principalmente quando combinado com a turfa. Nas misturas com cinza, também foram obtidos resultados não satisfatórios.

Ainda de acordo com Axelson et al. (2002), na Finlândia, os resultados obtidos com a mistura solo e cimento elevaram em até 40 vezes a resistência à compressão não confinada em argilas moles, e de até 20 vezes, em turfas.

Existe a possibilidade de se alterar as propriedades do solo por métodos mecânicos, térmicos, químicos, além de outros (Kedzi, 1979). Os métodos de alteração que ocorrem no solo-cimento são, por exemplo, métodos físicos (hidratação - cimentação e endurecimento devido à hidratação de cimento Portland) e métodos químicos (trocas iônicas – processos complexos de mudanças da adsorção nas partículas de solo – trocam de bases).

O solo-cimento é o material resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento e água em proporções adequadas. O produto resultante deste processo é um material com boa resistência à compressão não confinada, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade.

De acordo com a ABCP (1960), o cimento é adicionado em uma dosagem que varia de 5% a 10% da massa seca do solo, o suficiente para estabilizá-lo e conferir as propriedades de resistência à compressão não confinada desejadas para a mistura.

Para Adaska (1991), o solo-cimento pode ser definido como: mistura de solo cimento, e água, seguido de sua compactação, formando um material com densidade e propriedades geotécnicas, semelhantes à de um material com boas características geotécnicas.

De acordo com Vendruscolo (1996), o uso de aditivos que interajam com as partículas do solo visa à melhoria e à estabilidade de suas propriedades mecânicas e hidráulicas. Os autores ainda citaram que os aditivos a serem utilizados podem ser a cal, o cimento, os asfaltos ou betumes, além de alguns tipos de produtos químicos industrializados como: cloretos, ácidos, entre outros.

Axelsson, Johansson e Anderson (2002) citaram que o acréscimo de aglomerantes tende a aumentar a densidade do solo. Com o aumento da densidade, há aumento na resistência do solo. Além disso, os autores relataram que a temperatura de armazenamento é uma variável muito importante para o agente estabilizador. Para que se possam comparar os resultados de diferentes misturas, as mesmas devem permanecer armazenadas na mesma temperatura, e com valores muito próximos da temperatura encontrada em campo.

As ligações químicas que se desenvolvem entre o cimento e as superfícies minerais são mais importantes nas misturas de granulação mais fina, como as do solo-cimento, diferente das misturas com agregados graúdos, como o concreto (HANDY, 1958).

De acordo com Enamorado (1990), em solos coesivos, o cimento, ao hidratar-se, desenvolve fortes pontes entre partículas do solo formando uma matriz muito efetiva na fixação das partículas, tal que elas não possam deslizar umas em relação às outras.

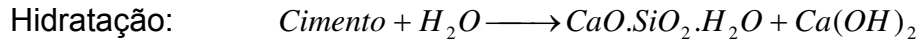
Assim, o cimento não só destrói a plasticidade, como ainda produz um incremento na resistência ao cisalhamento.

Segundo Ceratti e Casanova (1988), para se estudar o ganho de resistência à compressão do solo estabilizado com cimento deve-se estudar cuidadosamente a gênese, a composição e as características físicas e químicas do solo, além do tipo de cimento como aglomerante.

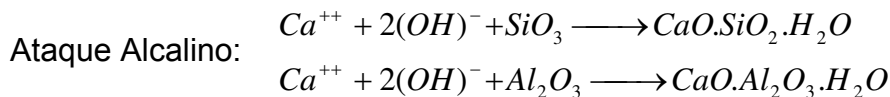
As reações que ocorrem no sistema solo-cimento podem ser divididas em reações primárias e reações secundárias. Em solos muito granulares e sem argila, a ação cimentante ocorre por meio dos produtos das reações primárias (hidratação e hidrólise); já em solos predominantemente argilosos, a ação cimentante ocorre por meio das reações secundárias (ataque alcalino).

Segundo Moh (1965), as reações podem ser divididas em:

Reações Primárias – Solos muito granulares e sem presença de argila



Reações Secundárias – Solos predominantemente argilosos



De acordo com Vendruscolo (1996), na primeira fase das reações primárias é produzida a cal. Na segunda fase das reações secundárias, as substâncias cimentantes são formadas sobre as superfícies das partículas de argila ou em sua vizinhança, causando a floculação dos grãos de argila cimentados nos pontos de contato.

Nuñez (1991) observou uma relação linear direta entre a resistência à compressão não confinada e a dosagem de cimento, salientando que, quanto mais cimento disponível houver, maior será a quantidade de produtos cimentantes primários de hidratação e também maior a quantidade de cal liberada para a formação dos produtos cimentantes secundários.

Herzog e Mitchell (1963) sugeriram que o processo de endurecimento do solo-cimento é devido à cimentação de partículas de solo pelos produtos da hidratação do cimento e pelos produtos de reações secundárias. A rigidez e a resistência à compressão não confinada do solo-cimento são atribuídas à formação de um esqueleto composto desses materiais dispostos na massa do solo.

Vendruscolo (1996) apud Noble (1967) explicou o mecanismo de reação de argilominerais com cimento Portland e que o autor atribuiu o ganho de resistência à compressão não confinada, observado em corpos-de-prova curados por sete dias, à:

- ✓ Flocculação inicial das partículas de argila, que facilita a cimentação;
- ✓ Hidratação do cimento, com geração de partículas cimentantes de grande superfície específica, e possível combinação química de sílica e alumina com hidróxido de cálcio, para produção adicional de partículas cimentantes;
- ✓ Cristalização do hidróxido de cálcio, que cimenta as partículas discretas e as flocculam.

Segundo Vendruscolo (1996), a matéria orgânica pode retardar ou impedir a hidratação do cimento em misturas solo-cimento. Uma das razões é que a matéria orgânica absorve os íons cálcio e, portanto, a adição de cal hidratada pode permitir que o solo fosse tratado com cimento. Além disso, a presença de sais, especialmente sulfatos, bem como um pH ácido, são fatores que também inibem o desenvolvimento da resistência à compressão não confinada de um solo tratado com cimento.

De acordo com Enamorado (1990), solos arenosos de boa graduação com baixa e média plasticidade são os mais suscetíveis a serem estabilizados com cimento, pois requerem baixos teores de aditivos, enquanto que aqueles com elevada plasticidade ($LP > 60$) são problemáticos, já que exigem, além de alta dosagem de cimento, equipamentos misturadores capazes de realizar esta mistura.

Para Vendruscolo (1996), as várias formas de cura também afetam a resistência à compressão não confinada. A generalização que pode ser feita é que altas temperaturas aumentam a velocidade de ganho de resistência à compressão não confinada, e que a excessiva secagem aumenta a resistência à compressão não confinada, porém provoca fissuras. A imersão em água, no processo de cura, reduz a resistência à compressão não confinada, particularmente em solos argilosos. Ceratti e Casanova (1988) relataram que o período mínimo para completar a interação solo-cimento variou de 3 a 7 dias, passando para 15 dias no caso de solos de elevada plasticidade.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Coleta de Amostras de Solo em Campo

Em abril de 2009 foram iniciadas as coletas de amostras deformadas de argila e turfa, utilizadas nesta pesquisa, na região de Itanhaém-SP. Primeiramente, foi realizado o reconhecimento da área a ser amostrada, por meio da execução de sondagem de simples reconhecimento dos solos – SPT, realizada em campo de acordo com os itens da NBR 6484 (2001), e depois a visita técnica ao local. O perfil de sondagem se encontra na Figura 4.1.

As amostras de argila e turfas foram coletadas por meio de retro-escavadeira e colocadas em bombonas plásticas de 20 L com tampas rosqueadas. As bombonas foram armazenadas corretamente para que, posteriormente, fossem realizados os ensaios de resistência à compressão não confinada com as misturas de solo mole, turfa e cimento.

As profundidades de coleta foram 5,00 m da camada de turfa e 6,00 m da camada de argila marinha, sendo que o solo superficial (acima dos 5,00 m) tratava-se de um aterro (como apresentado no perfil de sondagem da Figura 4.1). Neste perfil de sondagem, o símbolo P/ se refere ao fato do amostrador se deslocar devido ao seu próprio peso, segundo a altura indicada.

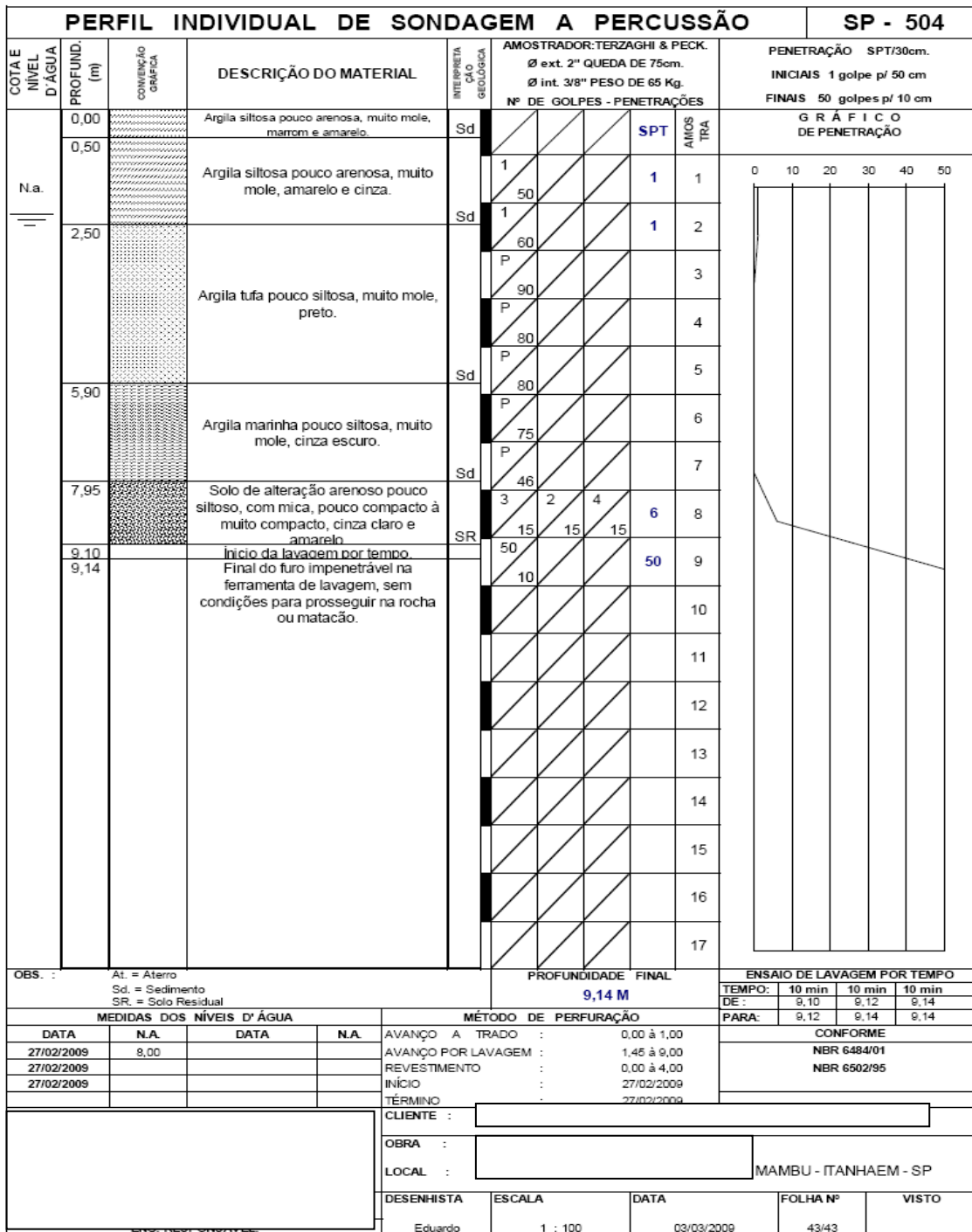


Figura 4. 1 – Perfil de sondagem SPT do local de coleta de amostra

A Figura 4.2 ilustra as fases da coleta das amostras, de argila e turfa, realizada em campo.

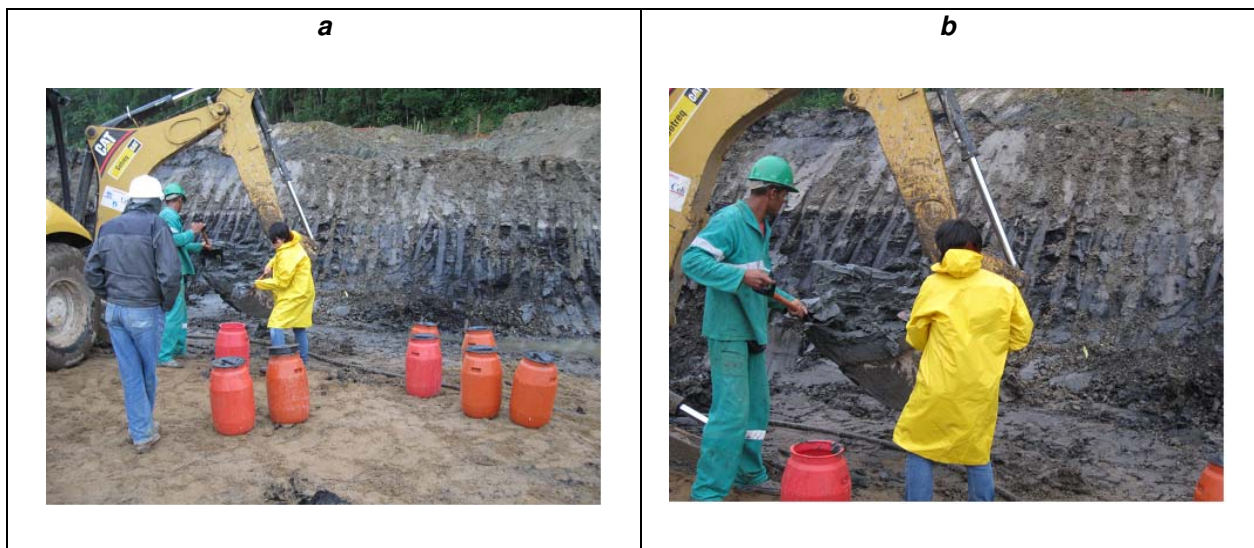


Figura 4. 2 – Coleta das amostras, de argila e turfa, em campo

Fonte: (arquivo pessoal)

4.1.2 Caracterização Geotécnica – Turfa / Argila

Foram realizados ensaios de caracterização geotécnica da turfa e da argila no laboratório de Mecânica dos Solos "LUIZ EDUARDO MEYER", do Departamento de Geotecnia e Transportes, da FEC – Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP.

a) Teor de umidade natural do solo e da turfa

O teor de umidade natural foi definido de acordo com a NBR 6457 (1986).

b) Densidade real dos grãos do solo e da turfa

A densidade real dos grãos foi determinada de acordo com a NBR 6508 (1984).

c) Limites de consistência

O Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade foram obtidos por meio dos ensaios padronizados pela NBR 6459 (1984) e NBR 7180 (1984), respectivamente.

d) Análise granulométrica do solo

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 7181(1984), com uso de defloculante na fase de sedimentação.

4.1.3 Análises Químicas

De acordo com o EuroSoilStab (2002), os principais ensaios de análise química principais a serem realizados são: Acidez (mg/kg); Carbonatos (mg/kg); Capacidade de Troca Catiônica (mmol/kg); Cloreto (mg/kg); Matéria Orgânica (%); pH; Sulfato (mg/kg); Sulfeto (mg/kg); Carbono Orgânico Total (mg/kg).

4.1.4 Cimento

Os cimentos utilizados neste estudo foram os cimentos CP V – ARI NBR 5733 (1991) e CP III – 40 RS NBR 5735 (1991). O Cimento Portland é composto de clínquer e de adições que distinguem os diversos tipos existentes, conferindo diferentes propriedades mecânicas e químicas a cada um deles. As adições também são ou não utilizadas em função de suas distribuições geográficas.

O CP V – ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, em menor tempo (ABCP, 2002).

O CP III – 40 RS – Cimento Portland de Alto-forno tem em sua composição o uso de escórias granuladas de alto-forno e materiais pozolânicos. São designados pela sigla e pela classe de resistência. A sigla corresponde ao prefixo CP acrescido do algarismo romano III, sendo a classe de resistência indicada pelo número 40, valor mínimo de resistência à compressão (expresso em megapascal - MPa) garantida pelos fabricantes, após 28 dias de cura. A sigla RS indica que este tipo de cimento é considerado resistente a sulfatos. O cimento CP III é composto por uma dosagem de escória entre 60% e 70% (ABCP, 2002).

As argilas orgânicas e as turfas afetam menos a hidratação do cimento quando utilizado o de alta resistência inicial, segundo Inglês e Metcalf (1972). Isso se deve à pureza do cimento, pois o CPV – ARI possui em sua composição maior porcentagem de clínquer em relação aos outros cimentos. Na Tabela 5.1, pode-se observar a composição dos dois tipos de cimento utilizados neste trabalho.

Tabela 4. 1 – Composição dos cimentos

| Cimento Portland(ABNT) | Tipo | Clínquer + Gesso (%) | Escória siderúrgica (%) | Material pozolânico (%) | Calcário (%) |
|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| CP III | Alto-forno | 25-65 | 35-70 | - | 0-5 |
| CP V - ARI | Alta resistência inicial | 95-100 | - | - | 0-5 |

Fonte: (ABNT, 1991)

4.2 MISTURAS EXPERIMENTAIS

As misturas foram elaboradas de acordo com experiências citadas em literatura internacional, como o EuroSoilStab (2002). As misturas foram dosadas em laboratório e na mesma data na qual foram moldados os corpos-de-prova. O processo de mistura está descrito no capítulo Homogeneização das Amostras, item 4.6.

Este procedimento, além de simples, gerou amostras de solo estabilizado adequadas para a determinação de resistência à compressão não confinada e da rigidez por meio de ensaios laboratoriais, além de ter determinado a dosagem adequada de cimento para melhoria deste solo.

Estas análises preliminares servem como estudos de dosagens para obtenção de parâmetros de resistência à compressão não confinada representativa aos projetos que visam à utilização do sistema de estabilização Dry-Mix, indicando os melhores aglomerantes e dosagens para se executar o serviço.

4.3 DETERMINAÇÃO DAS DOSAGENS DE CIMENTO

As dosagens (kg de cimento / m³ de solo): 100 kg/m³ e 200 kg/m³ foram determinadas neste trabalho, com base na literatura científica.

Para cada, foram moldados corpos-de-prova para serem ensaiados nas seguintes idades: 7, 28, 90 e 180 dias. Em cada idade, foram moldados 6 corpos-de-prova. O número total de corpos-de-prova confeccionados está apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4. 2 – Quantidade de corpos-de-prova moldados

| | 7 dias | 28 dias | 90 dias | 180 dias | Total por dosagem de cimento | 2 dosagens de cimento | 2 tipos de cimento |
|---------------------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Argila | 6 | 6 | 6 | 6 | 24 | 48 | 96 |
| Argila + 15% Turfa | 6 | 6 | 6 | 6 | 24 | 48 | 96 |
| Argila + 30% Turfa | 6 | 6 | 6 | 6 | 24 | 48 | 96 |
| Total de Corpos-de-Prova | 18 | 18 | 18 | 18 | 72 | 144 | 288 |

4.4 DETERMINAÇÃO DOS PERFIS GEOLÓGICOS

Para este estudo, foram simulados casos de perfis geológicos encontrados no local, ou seja, para determinação das dosagens das misturas, foram considerados os tipos de solo encontrados: a argila (solo) e a turfa (Figura 4.3). Para essa determinação, consideraram-se as porcentagens de matéria orgânica contida em cada tipo de solo:

- ✓ Solo – 5% de Matéria orgânica;
- ✓ Turfa – 16% de Matéria orgânica.

Estes teores de matéria orgânica foram determinados em laboratório por meio de análises químicas do solo. Os resultados das análises encontram-se no Capítulo 6, no item 6.2 - Análises Químicas.

Dois perfis de solo foram simulados:

1) Primeiro caso (a)

Analisou-se um perfil representando somente a camada de argila. Portanto, foi modificada somente a dosagem de cimento adicionado.

2) Segundo caso (b)

Analisou-se um perfil representando a argila com 15% de turfa com relação à massa seca da argila, isto é, perfil simulando uma camada total (Argila + Turfa) = 3,50 m, compreendendo, 0,50 m de Turfa + 3,00 m de Argila. A Figura 5.3 ilustra o perfil citado.



Figura 4. 3 – Simulação de um perfil de Argila + 15% Turfa

Portanto, para acrescentar 15% de matéria orgânica tem-se:

$$15\% \times 0,16 = 2,4\%$$

Sendo 0,16 representando os 16% de matéria orgânica já presentes na argila, de acordo com as análises químicas do solo. Então, em 15% de turfa, tem-se apenas 2,4% a mais de matéria orgânica.

3) Terceiro caso (c)

Analisou-se um perfil representando a argila com 30% de turfa com relação à massa seca da argila: perfil simulando uma camada total (argila + turfa) = 3,80 m, compreendendo, 0,80 m de turfa + 3,00 m de argila. A Figura 5.4 ilustra o perfil do terceiro caso.

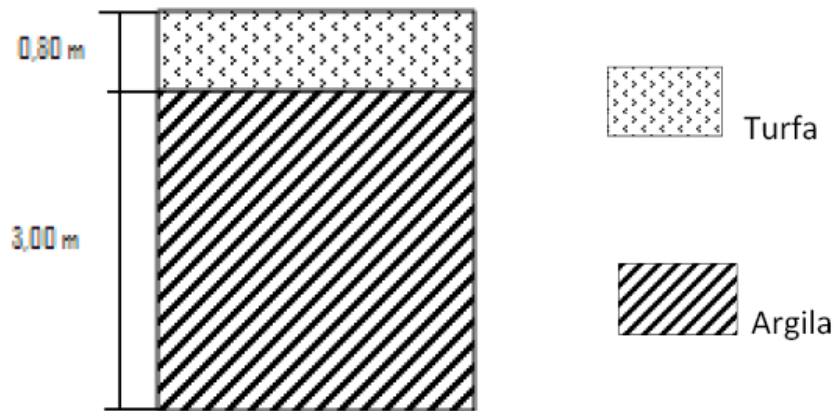


Figura 4. 4 – Simulação de um perfil de Argila + 30% Turfa

Neste terceiro caso acrescentou-se do dobro de matéria orgânica no solo.

$$15\% \times 0,16 = 2,4\%$$

$$30\% \times 0,16 = 4,8\%$$

Sendo 0,16 representando os 16% de matéria orgânica já presentes na argila, de acordo com as análises químicas do solo. Então, em 30% de turfa, tem-se 4,8% de matéria orgânica.

4.5 DOSAGENS ESTUDADAS

Após a determinação dos perfis, puderam-se estudar as dosagens de solo-cimento. De acordo com as experiências de Axelsson, Johansson e Anderson (2002) e EuroSoilStab (2002), pôde-se observar que a menor dosagem de cimento recomendado seria de 80 a 100 kg de cimento, por metro cúbico de solo natural.

Por meio destes relatos, foram então selecionadas as seguintes dosagens para esta pesquisa:

Tabela 4. 3 – Dosagens de cimento

| Dosagem (kg/m³)* | Cimento | Solo | % cimento ** |
|------------------------------------|----------------|--------------------------------|---------------------|
| 100 | CP III – 40 RS | Argila marinha | 4% |
| 200 | | | 8% |
| 100 | CP V – ARI | Argila marinha | 4% |
| 200 | | | 8% |
| 100 | CP III – 40 RS | Argila marinha + 15 % Turfa | 4% |
| 200 | | | 8% |
| 100 | CP V – ARI | Argila marinha + 15 % Turfa | 4% |
| 200 | | | 8% |
| 100 | CP III – 40 RS | Argila marinha + 30 % Turfa | 4% |
| 200 | | | 8% |
| 100 | CP V – ARI | Argila marinha + 30 % Turfa | 4% |
| 200 | | | 8% |

* kg de cimento por m³ de solo natural;

** Em relação à massa seca do solo.

4.6 HOMOGENEIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

4.6.1 *Misturador Planetário*

De acordo com o EuroSoilStab (2002), para se ter uma mistura próxima à adquirida em campo, devem ser utilizados misturadores planetários, como o apresentado na Figura 4.5, com as dosagens de cimento pré-definidas. Para que os resultados alcançados fossem representativos, as análises foram realizadas em amostras homogeneizadas na condição de perfil vertical.



Figura 4. 5 – *Misturador planetário*
Fonte: (arquivo pessoal)

Para que estas misturas fossem confiáveis, observou-se a homogeneidade delas e utilizou-se um tempo máximo de 5 minutos de homogeneização.

4.6.2 Misturas em Laboratório

✓ A metodologia de preparação das amostras foi baseada nos procedimentos descritos no EuroSoilStab (2002). Assim, uma quantidade suficiente de solo foi colocada no misturador planetário, de modo a preparar um número necessário de corpos-de-prova.

✓ Foi colocada no misturador uma quantidade de solo suficiente para preparar o número necessário de amostras de solo estabilizado a uma dada dosagem. Cada mistura prescrita permitiu obter 6 corpos-de-prova.

✓ Foi usada unidade de peso a granel a fim de calcular o peso necessário de estabilizador. A dosagem de cimento foi fornecida como kg/m^3 , relativa à massa úmida do solo.

✓ O cimento foi adicionado ao solo no misturador. Solo e cimento foram misturados durante 2 a 5 minutos, até que a massa se apresentasse visualmente homogênea.

Diferenças nas propriedades dos solos, nos estabilizadores e nas máquinas de mistura tornam impossível especificar um tempo fixo de mistura. A medida mais confiável da homogeneidade da mistura é a aparência visual. Dessa maneira, o período ideal de mistura de 5 minutos foi adotado.

5 MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA

Foram moldados corpos-de-prova com as dimensões determinadas de diâmetro de 5 cm e altura de 10 cm, para realização de ensaios de resistência à compressão não confinada nas idades a partir de 7 dias. O EuroSoilStab (2002) determina que o molde escolhido deva ser de altura igual a duas vezes o diâmetro do corpo-de-prova.

Foi escolhido o diâmetro da amostra baseado na espessura do solo misturado. Na grande maioria dos casos, 50 mm são suficientes. Apenas, quando o solo contiver muitas partículas ou fibras espessas, um diâmetro maior deve ser usado. Adotaram-se, portanto, moldes de 50 mm, por ser o mais utilizado no Brasil.

Após efetuar-se a mistura em misturador planetário, os corpos-de-prova foram moldados com ajuda de uma mesa vibratória. São vistos em outros estudos, como EuroSoilStab (2002) e Axelsson, Johansson e Anderson (2002), que a compactação na moldagem das amostras é muito importante para se obter um bom resultado de resistência à compressão não confinada. Porém, neste estudo, não foi realizada uma compactação e sim uma densificação do material por meio de mesa vibratória, como mostra a Figura 3.6. Tal medida foi adotada, devido ao fato de se tratar de uma amostra de solo-cimento plástica e, além disso, do número de corpos-de-prova a ser moldado em cada dosagem ser relevante, ou seja, 48 corpos-de-prova. Na moldagem utilizando o método da mesa vibratória, além de ágil, permitiu observar-se um resultado satisfatório em relação à qualidade das amostras.



Figura 5. 1 – Densificação dos corpos-de-prova através de mesa vibratória
Fonte: (arquivo pessoal)

Antes da tomada de decisão para esse tipo de densificação das misturas foram realizados pré-ensaios. Moldagens e ensaios à compressão não confinada foram realizados para análise dos corpos-de-prova e nenhum deles apresentou falhas ou bolhas quando ensaiados e analisados.

A moldagem foi realizada logo após a mistura, cujo tempo máximo sugerido pelo guia de projetos EuroSoilStab (2002), é de 30 min. Os corpos-de-prova de cada dosagem foram preparados, em uma ou duas etapas.

5.1 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA

Os ensaios de resistência à compressão não confinada foram realizados de acordo com a NBR 12770 (1992). A prensa utilizada para realização deste ensaio foi a DAE, da marca Wykeham Farrance; o anel utilizado com precisão de 1000 kgf, da marca Mitutoyo.

Cada corpo-de-prova foi posto na máquina de compressão, de forma que seu eixo vertical estivesse alinhado com o eixo vertical da máquina. O carregamento foi aplicado de forma constante durante o decorrer de todo o ensaio. A carga foi aplicada a uma velocidade de cerca de 1 mm/min, só sendo cessada a aplicação quando o recuo do ponteiro indicava que havia sido alcançada a carga máxima.

Esses ensaios foram realizados em corpos-de-prova, devidamente preparados com misturas plásticas de solo mole, matéria orgânica (turfa), aglomerantes (cimento Portland CP III e CP V) e água, conforme Tabela 6.1.

Foram realizados ensaios de resistência à compressão não confinada em corpos-de-prova nas idades de 7, 28, 90 e 180 dias.

5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com o auxílio do software Statsgraphics 5.1 Centurion, efetuou-se a Análise de Variância (ANOVA) para avaliar o efeito dos fatores: tipo de cimento, dosagem de cimento, tipo de solo e idade dos corpos-de-prova, sob a resistência à compressão não confinada.

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey. O Teste de Tukey é um dos testes de comparação entre médias mais utilizados, por ser bastante rigoroso e de fácil aplicação. Não permite comparar grupos de tratamentos entre si, mas é utilizado para testar toda e qualquer diferença entre duas médias de tratamento. Este teste é aplicado quando o teste “F” para tratamentos da ANAVA (análise de variância) for significativo. O teste de Tukey tem como base a DMS (diferença mínima significativa), segundo Gomes (1973).

5.3 ENSAIOS DE ULTRASSOM

Para a determinação da velocidade de propagação da onda ultrassônica, utilizou-se o equipamento fabricado pela AGRICEF, Brasil, modelo USLab. O procedimento adotado foi o da NBR 8802 (1994), empregando a transmissão direta entre os transdutores. Este equipamento permite a medição do tempo necessário para que a onda se propague na distância entre os transdutores.

Para calcular a velocidade de propagação de ondas foi utilizada a equação (5.1):

$$V = \frac{L}{t} (km/s) \quad (5.1)$$

Onde:

V = velocidade de propagação (m/s);

L = distância entre os pontos de acoplamento dos centros das faces dos transdutores – neste caso, altura do corpo-de-prova (mm);

t = tempo decorrido desde a emissão da onda até a sua recepção (μs)

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA – TURFA / ARGILA MARINHA

São apresentados, na Tabela 6.1, os resultados da caracterização geotécnica das amostras de argila marinha e turfa.

Tabela 6. 1 – Caracterização geotécnica das amostras

| Amostra | Análise Granulométrica | | | Limites de Atterberg | | | Peso Específico dos Sólidos | Peso Específico Natural | Umidade Natural |
|---------|------------------------|---------|---------|----------------------|------|------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|
| | Argila % | Silte % | Areia % | LL % | LP % | IP % | (kN/m ³) | (kN/m ³) | (%) |
| Turfa | 12 | 40 | 48 | 625 | 434 | 191 | 17,6 | 10,3 | 514,12 |
| Argila | 56 | 37 | 7 | 110 | 66 | 44 | 26,6 | 13,4 | 127,70 |

As turfas são materiais que possuem alto índice de liquidez e dosagem de umidade elevada, e, sobretudo, quando se trata de um material submerso. Pode-se observar, na Tabela 6.1, a dificuldade em se classificar a turfa quanto à sua análise granulométrica, e isso se deve aos tamanhos das partículas, que são formadas por matéria orgânica, principalmente húmus, fazendo com que o resultado de granulometria seja similar ao de uma areia. Outra característica da turfa é seu baixo peso específico, tanto natural quanto dos sólidos, que também se deve à quantidade de matéria orgânica nela contida.

A segunda amostra, por se tratar de uma argila orgânica, apresenta peso específico tanto dos sólidos quanto natural, não muito elevada, típica de material mole e orgânico. Sua granulometria apresenta ainda, uma grande porcentagem de silte (37%), e baixa porcentagem de areia (7%).

6.2 ANÁLISES QUÍMICAS

São apresentados, na Tabela 6.2, os resultados das análises químicas realizadas tanto nas amostras de turfa, como nas de argila marinha. Observa-se que o teor de matéria orgânica encontrado nas amostras é relativamente elevado.

Tabela 6. 2 – Análise química das amostras

| Parâmetros | Expresso como | Turfa | Argila |
|---|----------------------|------------------------|------------------------|
| Acidez (mg/kg) | CaCO ₃ | 480,00 | 1,8 x 10 ³ |
| Carbonatos (mg/kg) | CaCO ₃ | 1,21 x 10 ⁴ | 8,92 x 10 ³ |
| Capacidade de Troca Catiônica (mmol/kg) | CTC | 170,00 | 75,50 |
| Cloreto (mg/kg) | Cl | 216,00 | 113,00 |
| Matéria Orgânica (%) | MO | 16,00 | 5,00 |
| pH | pH | 6,93 | 8,38 |
| Sulfato (mg/kg) | SO ₄ | 1,08 x 10 ³ | 7,89 |
| Sulfeto (mg/kg) | S | 100,00 | < 5,0 |
| Carbono Orgânico Total (mg/kg) | C | 360,00 | 15,00 |

6.3 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA

Os gráficos 6.1 a 6.4 apresentam os resultados dos ensaios de resistência à compressão não confinada, através de gráficos – Resistência à compressão não confinada (RCNC) x Deformação axial, os quais foram traçados com o auxílio de programa computacional (Excel 2007).

Os valores dos eixos dos gráficos foram ajustados para que fosse possível realizar comparações diretas dos ensaios. Os resultados dos corpos-de-prova (CP) que se mostraram afastados da média não foram considerados.

6.3.1 Ensaio 01 – Mistura: Argila + Dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo

Os gráficos, tensão axial *versus* deformação axial para mistura: Argila + dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS estão apresentados nos gráficos 6.1 a 6.4.

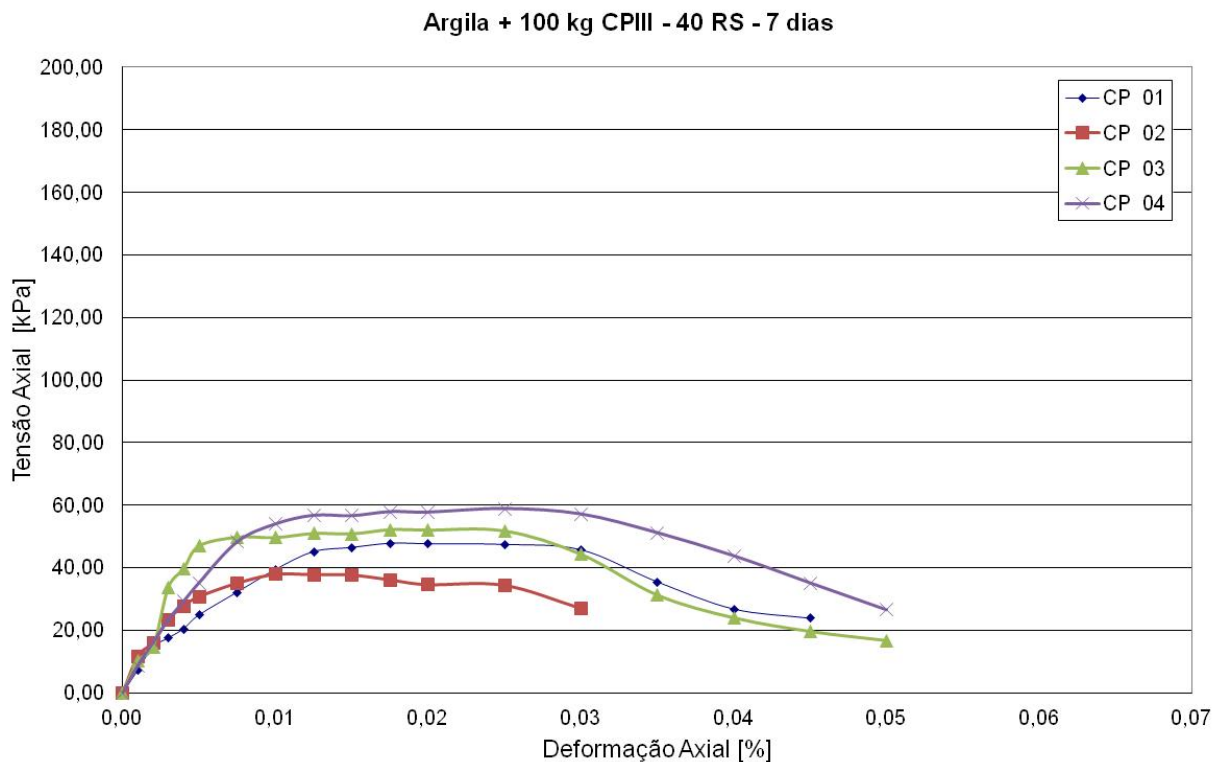


Gráfico 6. 1 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

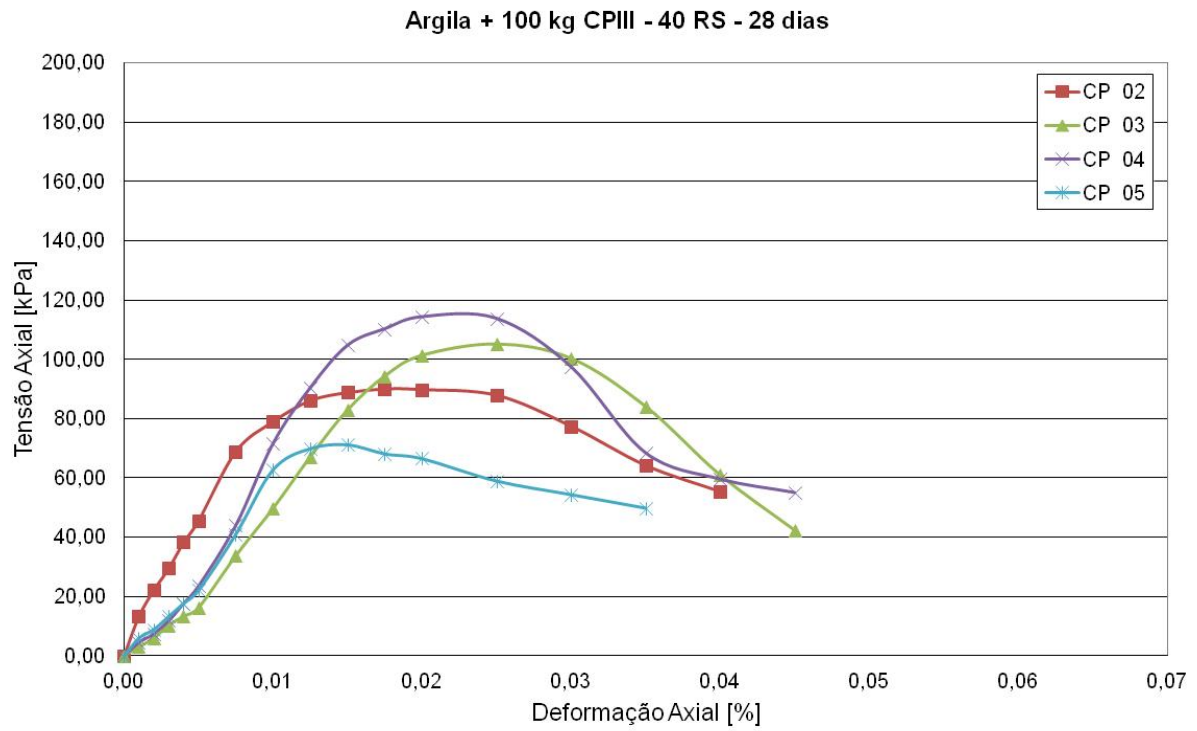


Gráfico 6. 2 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

Argila + 100 kg CPIII - 40 RS - 90 dias

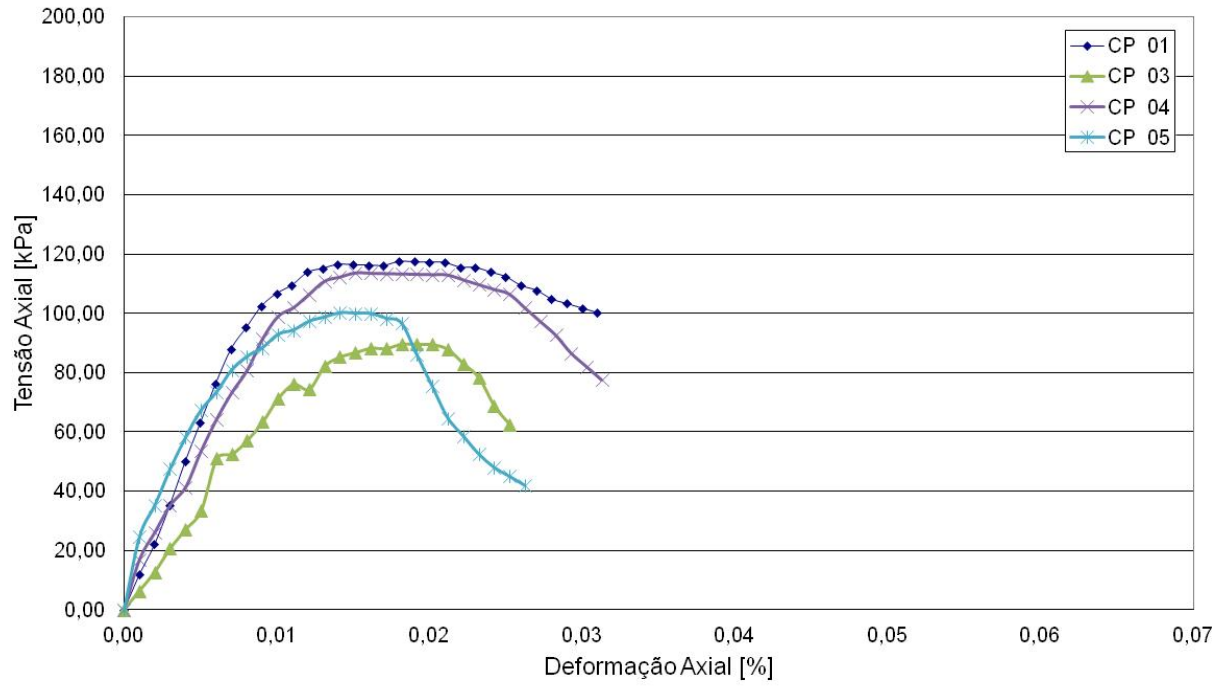


Gráfico 6. 3 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

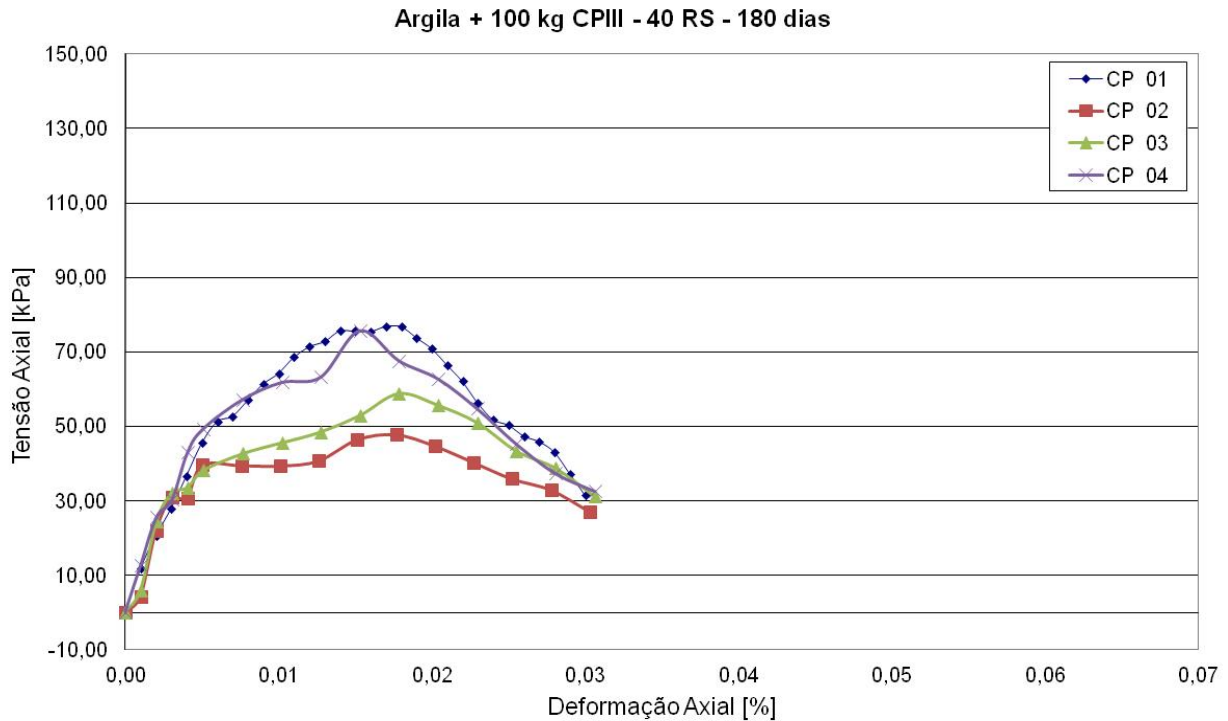


Gráfico 6. 4 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias

Para o tratamento realizado em argila pura, simulando a dosagem de 100 kg de cimento CP III – 40 RS por metro cúbico de solo pode-se observar que houve melhora de resistência à compressão não confinada. Esta melhora, apesar de muito pequena, nos primeiros sete dias, significou aproximadamente 50% de ganho de resistência à compressão não confinada nas idades acima de 28 dias. Apesar de um pequeno decréscimo na resistência à compressão não confinada alcançada aos 180 dias, pode-se considerar como estabilizada a massa de solo tratada.

Quando se trata do cimento CP III – 40 RS, sabe-se que o teor de clínquer é baixo e o teor de escória é de 60 a 70%, ou seja, esta mesma dosagem de cimento, se substituído por um tipo mais puro, exemplo cimento ARI, os resultados deverão ser mais elevados.

É certo que houve um ganho de resistência à compressão não confinada ao ser acrescido somente 100 kg de cimento por metro cúbico de argila marinha pura, porém este ganho é relativo à quantidade de agente estabilizante acrescido no solo. Quando a quantidade de cimento acrescida no solo é relativamente baixa, há uma dificuldade de reação entre os grãos do solo, água e cimento, isto porque são pequenas as quantidades de produtos cimentantes para hidratação e também de cal liberada para a formação de mais produtos cimentantes.

6.3.2 Ensaio 02 – Mistura: Argila + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo

Os gráficos tensão axial *versus* deformação axial para mistura: Argila + dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS estão apresentados nos gráficos 6.5 a 6.8.

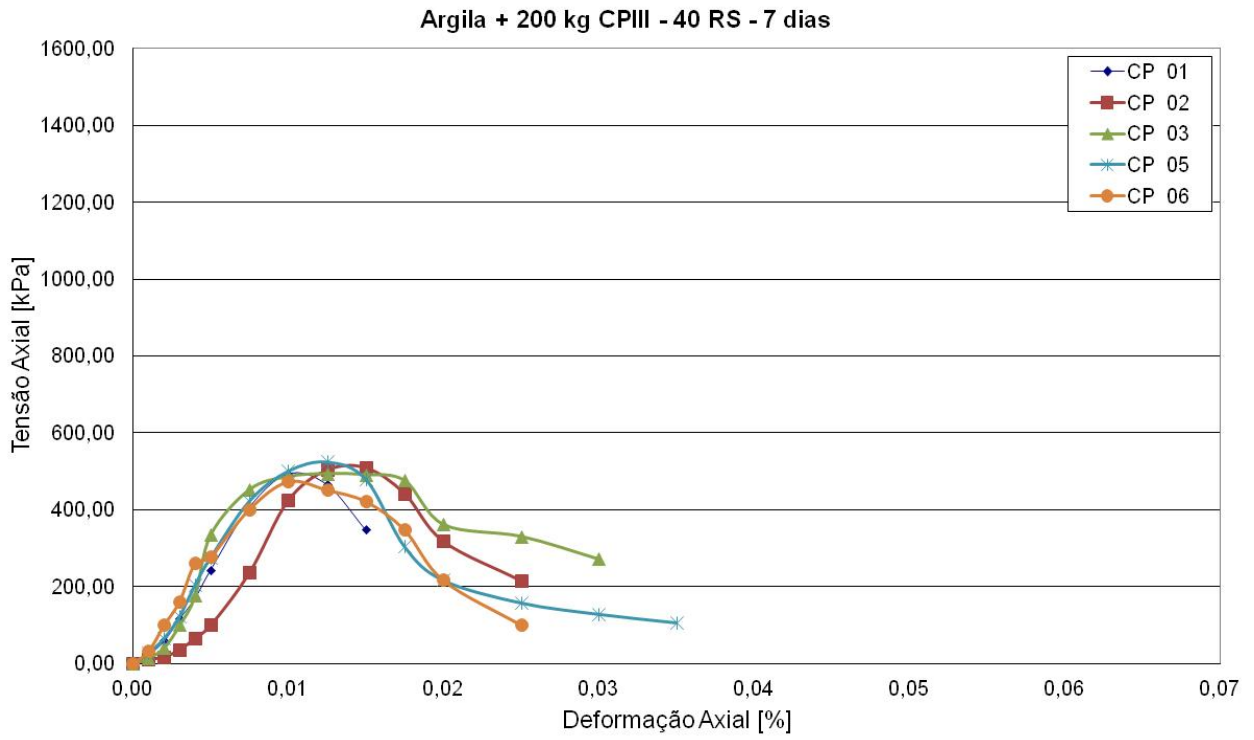


Gráfico 6. 5 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

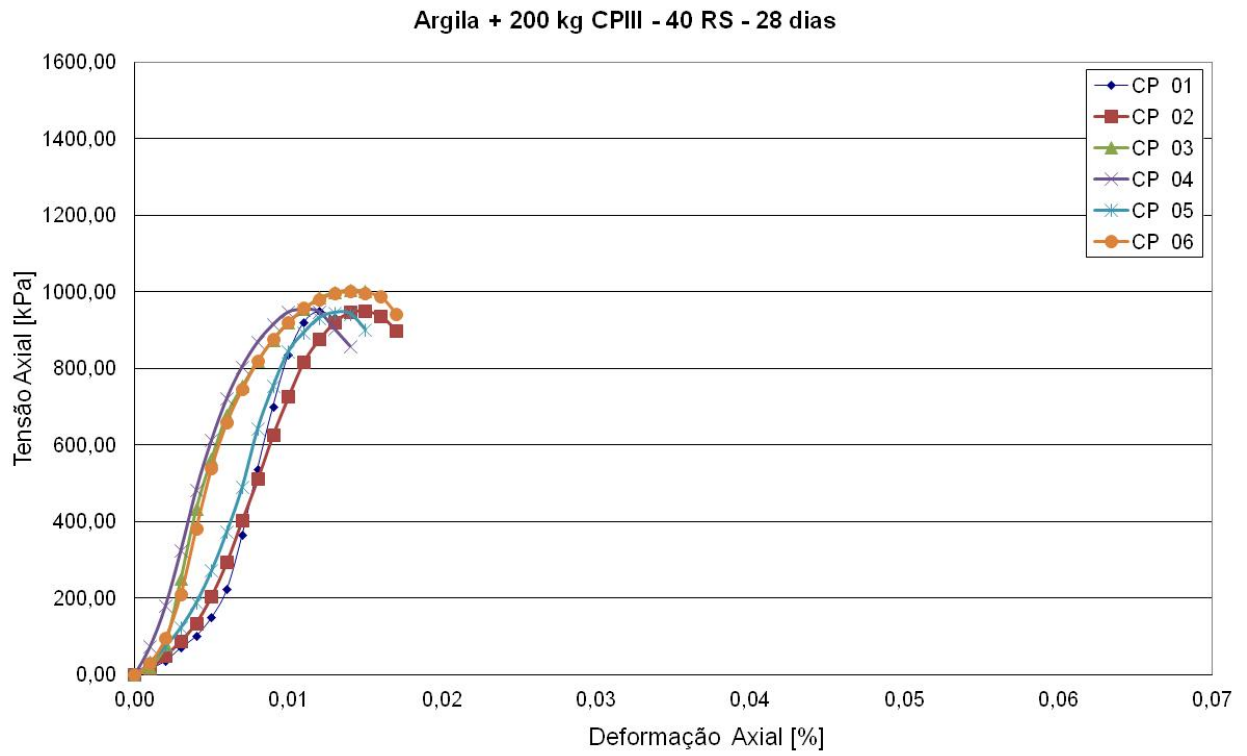


Gráfico 6. 6 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

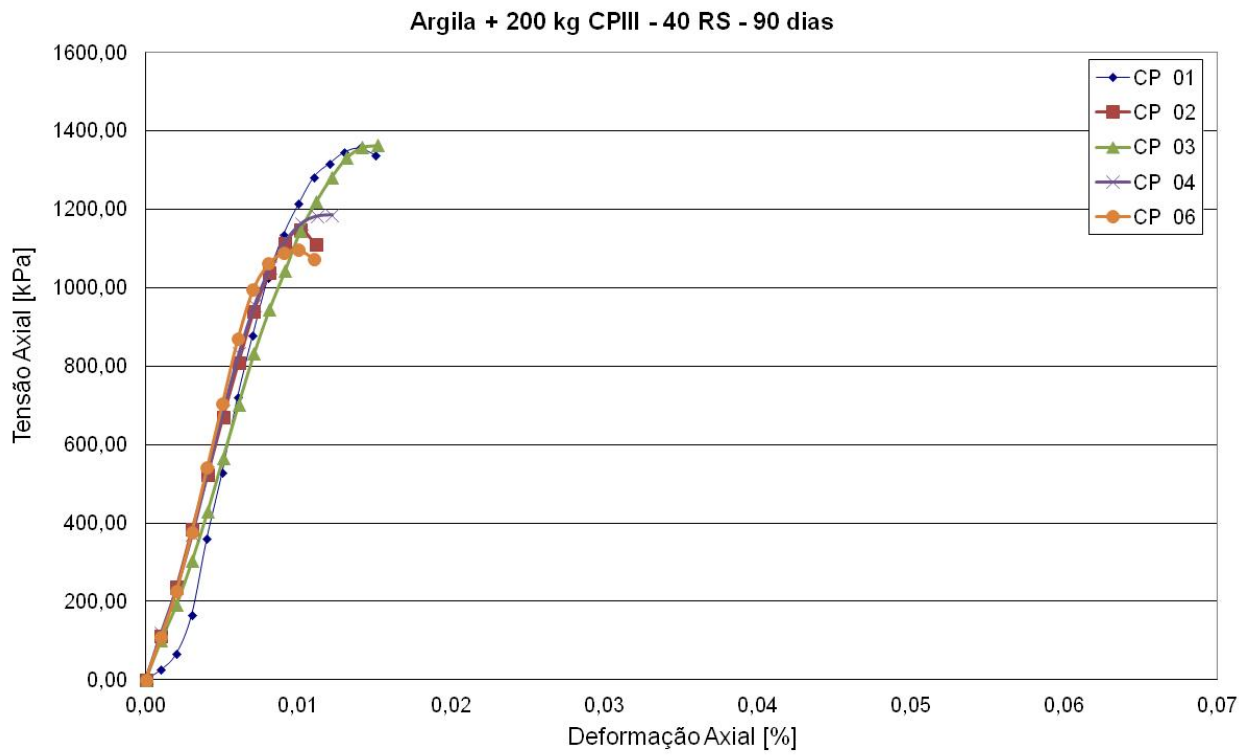


Gráfico 6. 7 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

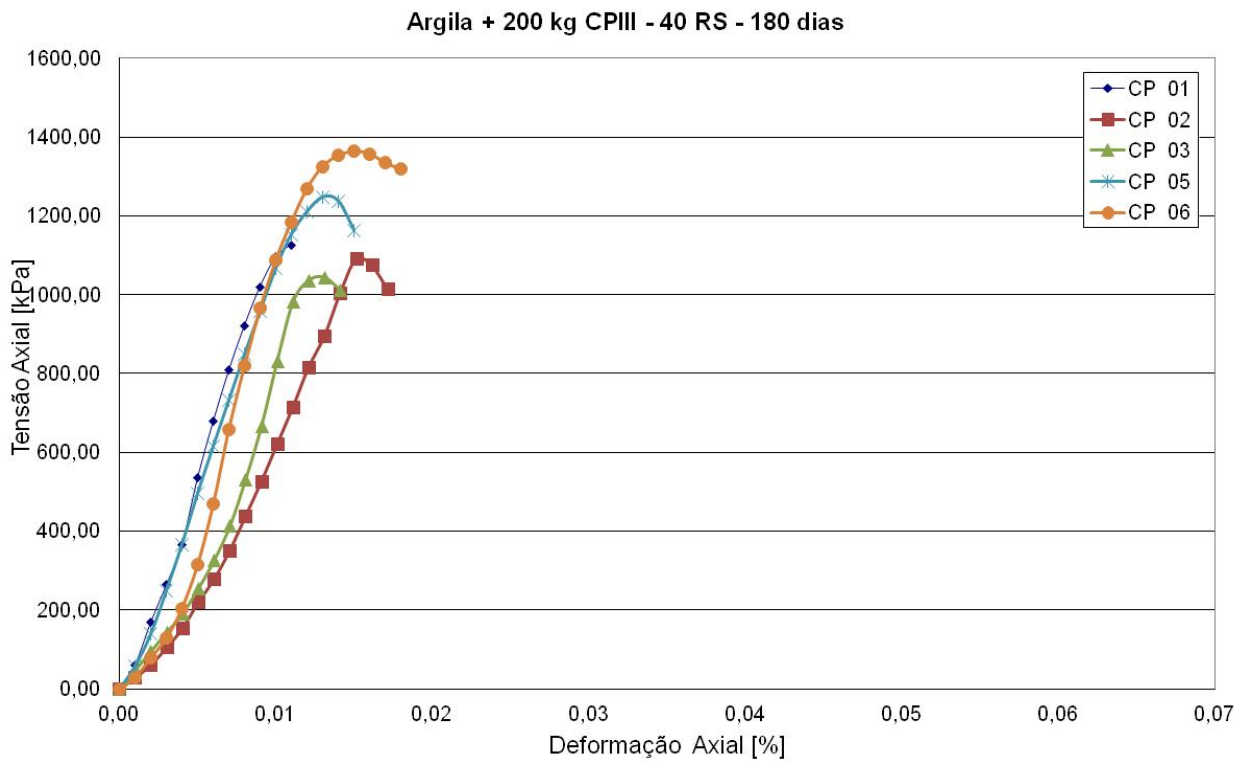


Gráfico 6. 8 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias

Para o tratamento realizado em argila pura, simulando a dosagem de cimento a ser acrescida igual a 200 kg de cimento CP III – 40 RS por metro cúbico de solo pode-se observar um aumento significativo na resistência à compressão não confinada. Esta melhora significa mais de 10 vezes o valor da resistência à compressão não confinada obtida na mesma amostra com dosagem de 100 kg de cimento por m³ de solo.

O ganho de resistência à compressão não confinada, nestas amostras, foi gradual, e a diferença de resistência à compressão não confinada aos 7 dias para os 28 dias, foi a mais significativa. O aumento da resistência à compressão não confinada nestas argilas não estabiliza aos 28 dias, ou seja, ainda há um ganho significativo aos 90 e 180 dias, isso se deve há presença de matéria orgânica que retarda o ganho de resistência à compressão não confinada. E, apesar de um pequeno decréscimo na resistência à compressão não confinada alcançada aos 180 dias, pode-se considerar como estabilizada a massa de solo tratada.

Pode-se considerar que a dosagem de 200 kg de cimento é indicada para a técnica estudada neste trabalho, pois não houve dificuldade de reação entre os grãos do solo, água e cimento.

Devido aos baixos teores tanto de clínquer como de escória para o cimento CP III – 40 RS, existe a necessidade de aumentar a dosagem de cimento.

6.3.3 Ensaio 03 – Mistura: Argila + Dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo

Serão apresentados nos gráficos 6.9 a 6.12, os gráficos tensão axial x deformação axial para mistura: Argila + dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP V – ARI.

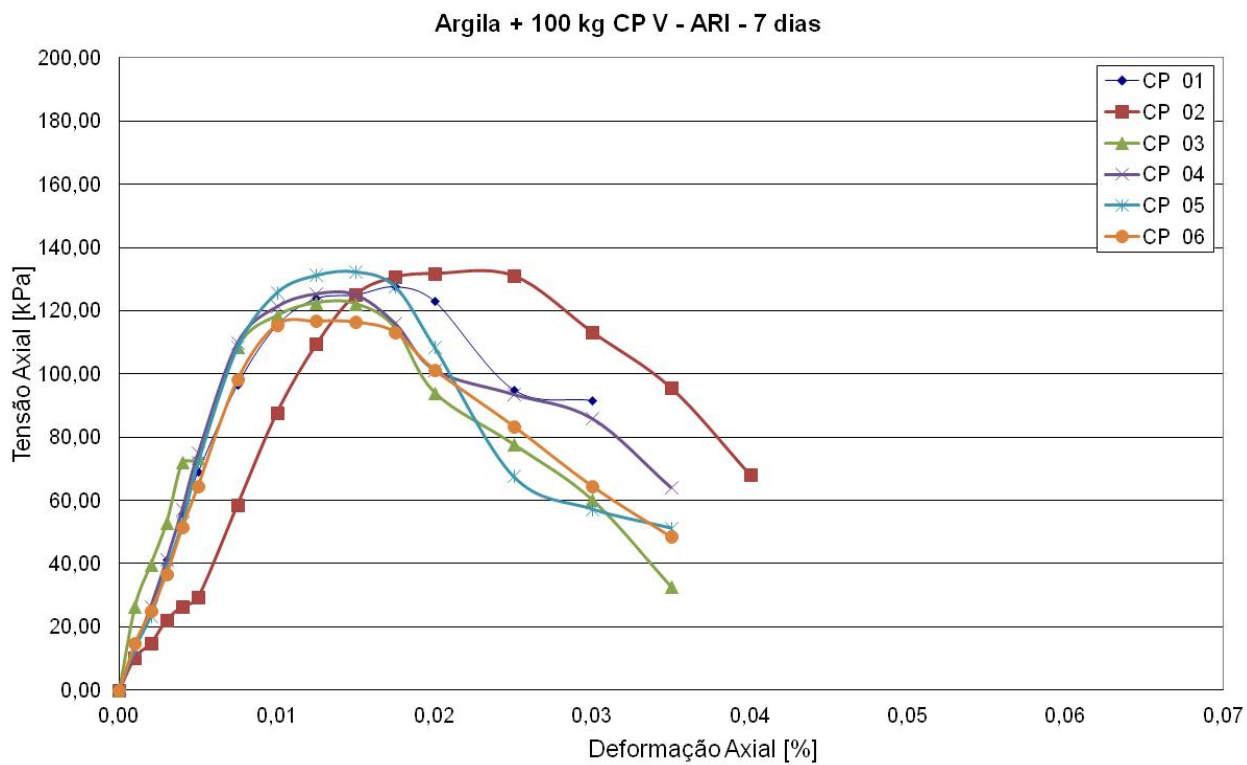


Gráfico 6. 9 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

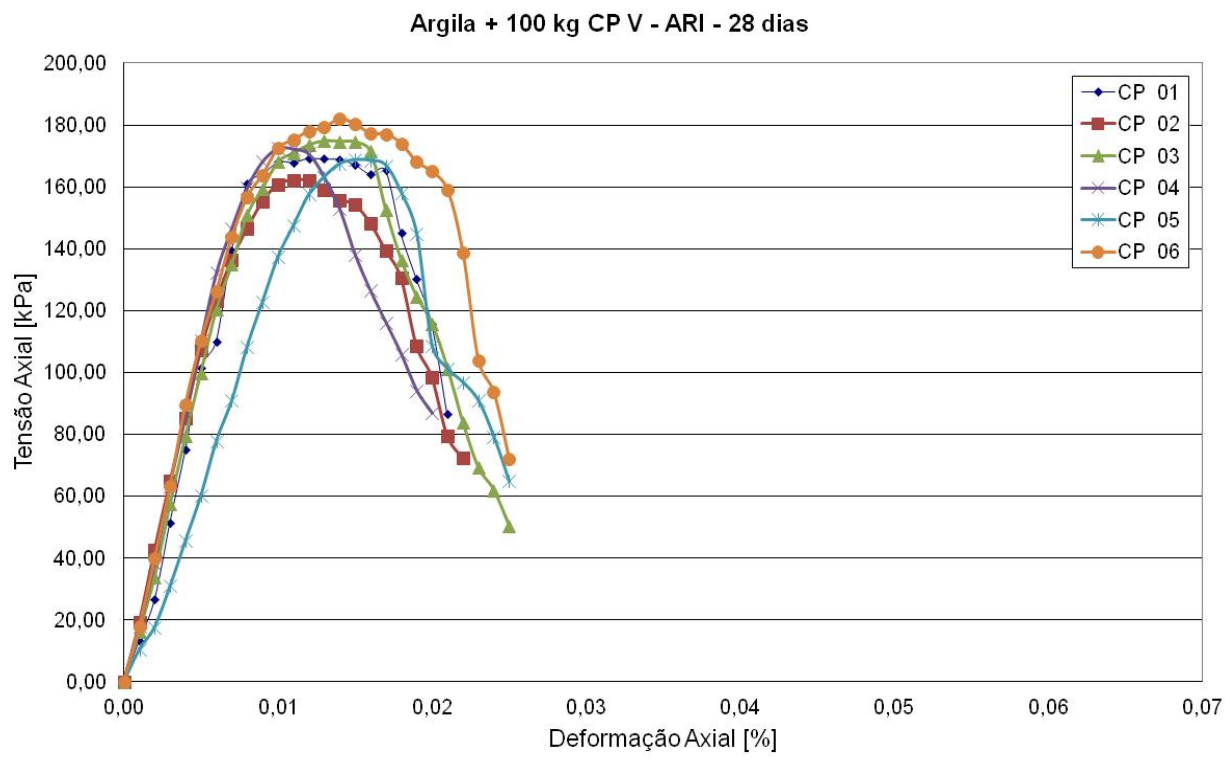


Gráfico 6. 10 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

Argila + 100 kg CP V - ARI - 90 dias

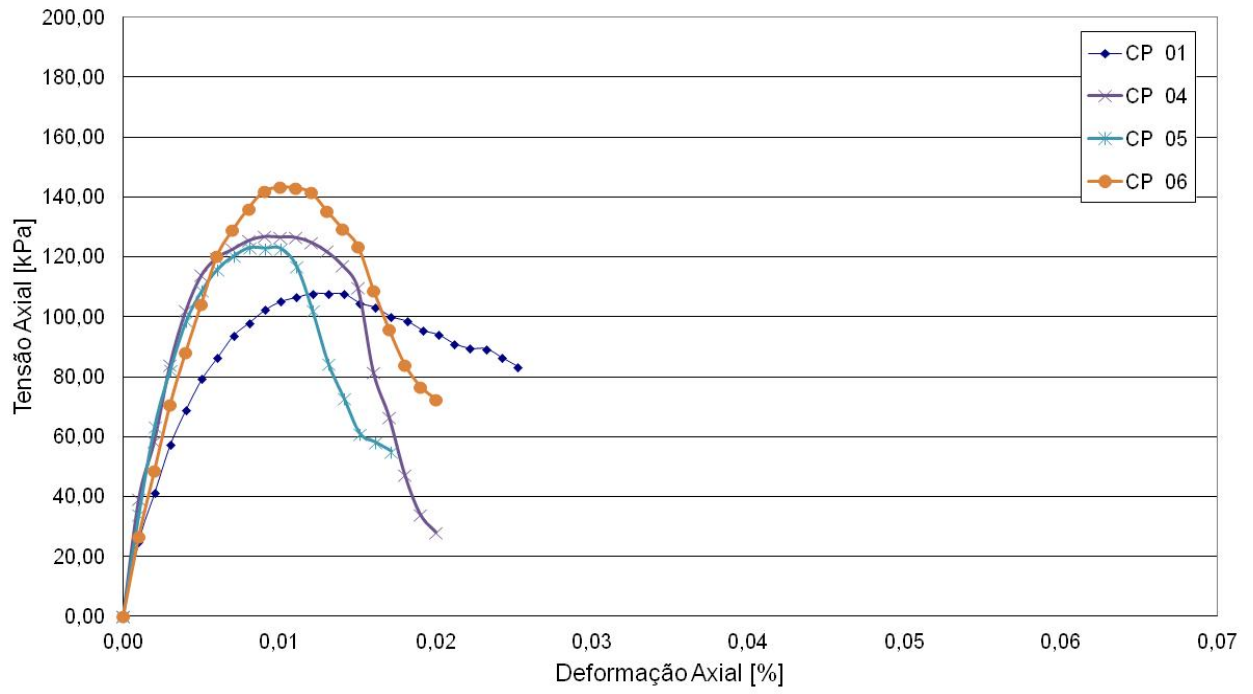


Gráfico 6. 11 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

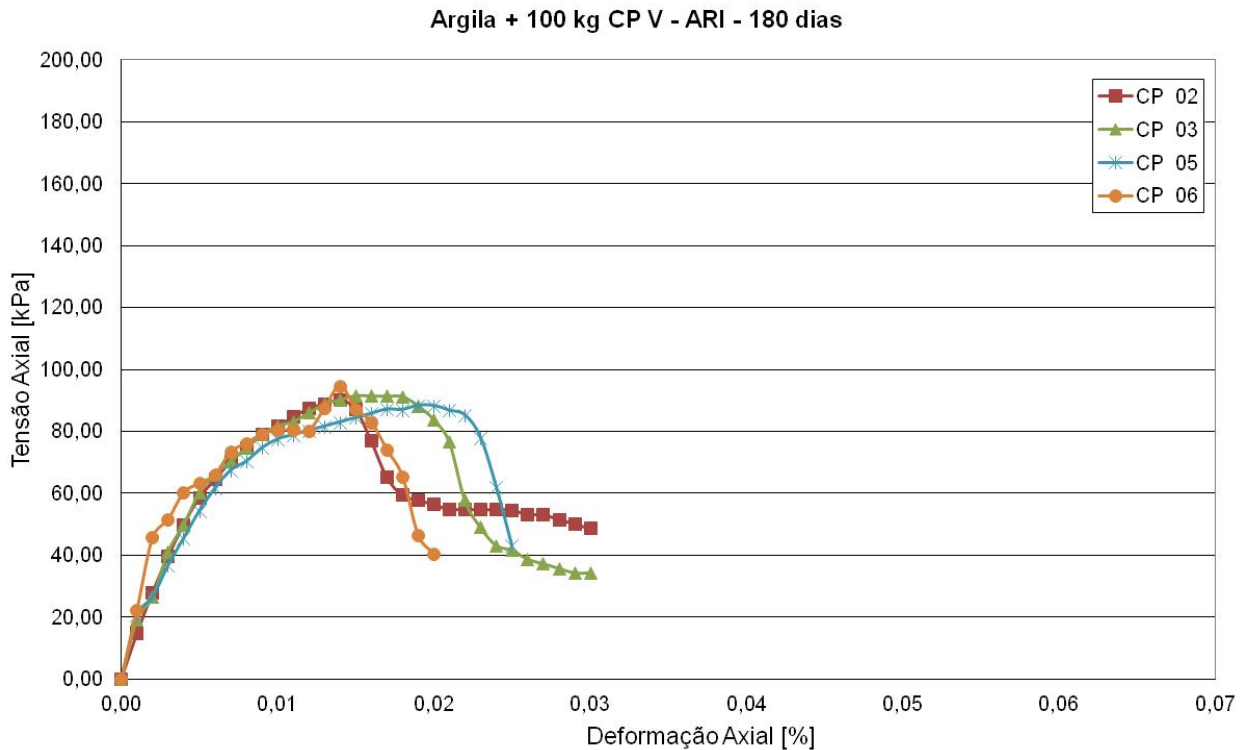


Gráfico 6. 12 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias

Para o tratamento realizado em argila pura acrescida de 100 kg de cimento CP V – ARI por metro cúbico de solo observa-se uma pequena melhora na resistência à compressão não confinada. O resultado de resistência à compressão não confinada da mistura, comparado ao obtido aos sete dias, teve ganhado de resistência à compressão não confinada na idade de 28 dias. Porém, esta resistência à compressão não confinada, alcançada aos 90 dias, teve um pequeno decréscimo aos 180 dias, podendo-se considerar como estabilizada.

Sabe-se que o CPV – ARI é um cimento mais puro em relação ao CP III – 40 RS, pois possui em sua composição 95%, ou mais, de clínquer, então é esperado que o resultado obtido fosse maior que os encontrados em relação à mistura com CP III – 40 RS. Porém, a dosagem estudada no ensaio 3 (100 kg) é relativamente baixa, confirmando assim, a dificuldade de reação entre os grãos do solo, água e cimento, devido à baixa dosagem de produtos cimentantes.

Os resultados dessa dosagem em relação àquela dosagem utilizando o cimento CP III foram quase insignificantes. Isto confirma que esta dosagem é insuficiente para que haja a reação com o solo a ser tratado, independentemente do tipo de cimento utilizado.

6.3.4 Ensaio 04 – Mistura: Argila + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo

Os gráficos tensão axial *versus* deformação axial para mistura: Argila + dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP V – ARI estão apresentados nos gráficos 6.13 a 6.16.

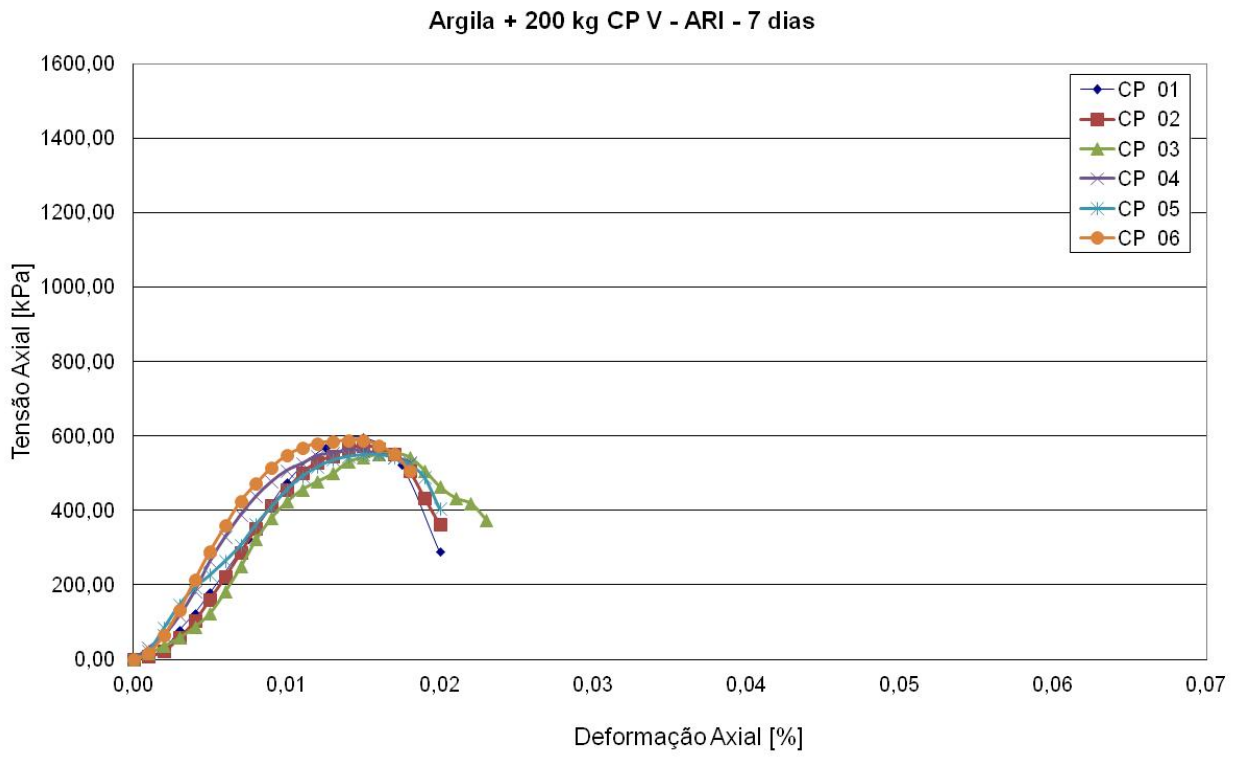


Gráfico 6. 13 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

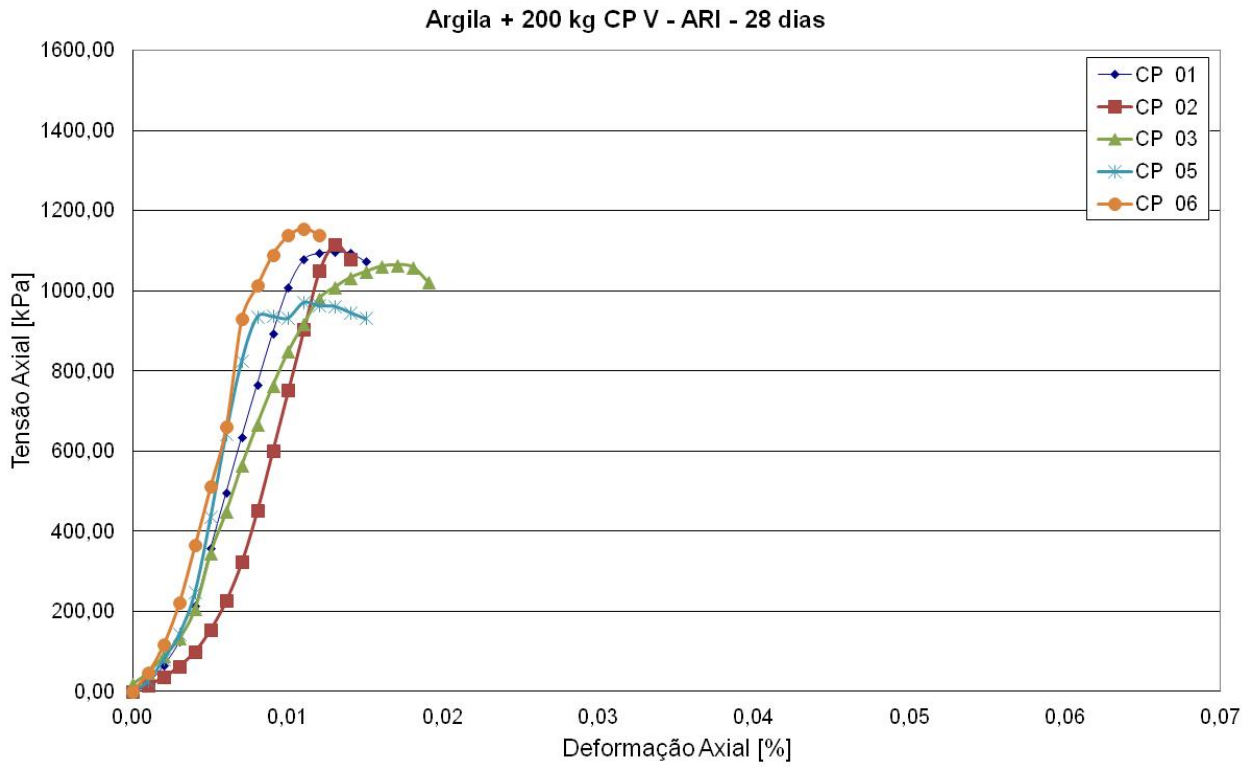


Gráfico 6. 14 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

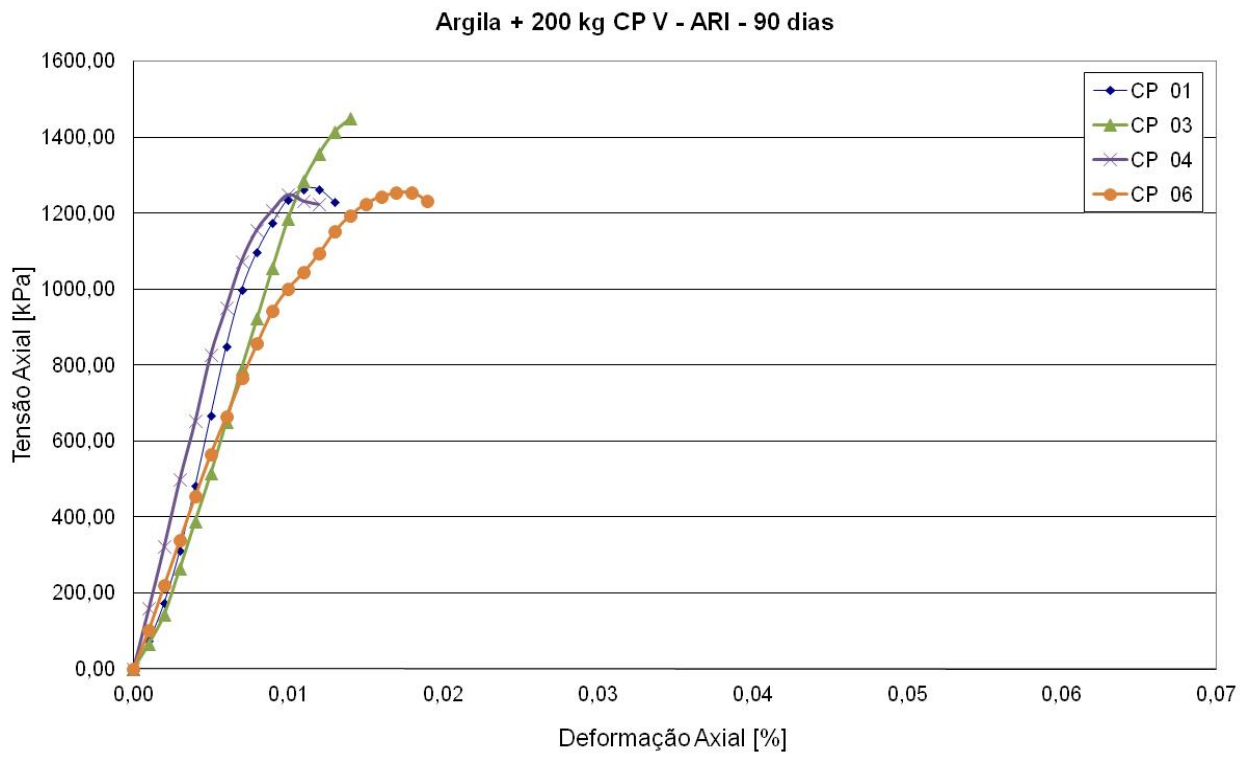


Gráfico 6. 15 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

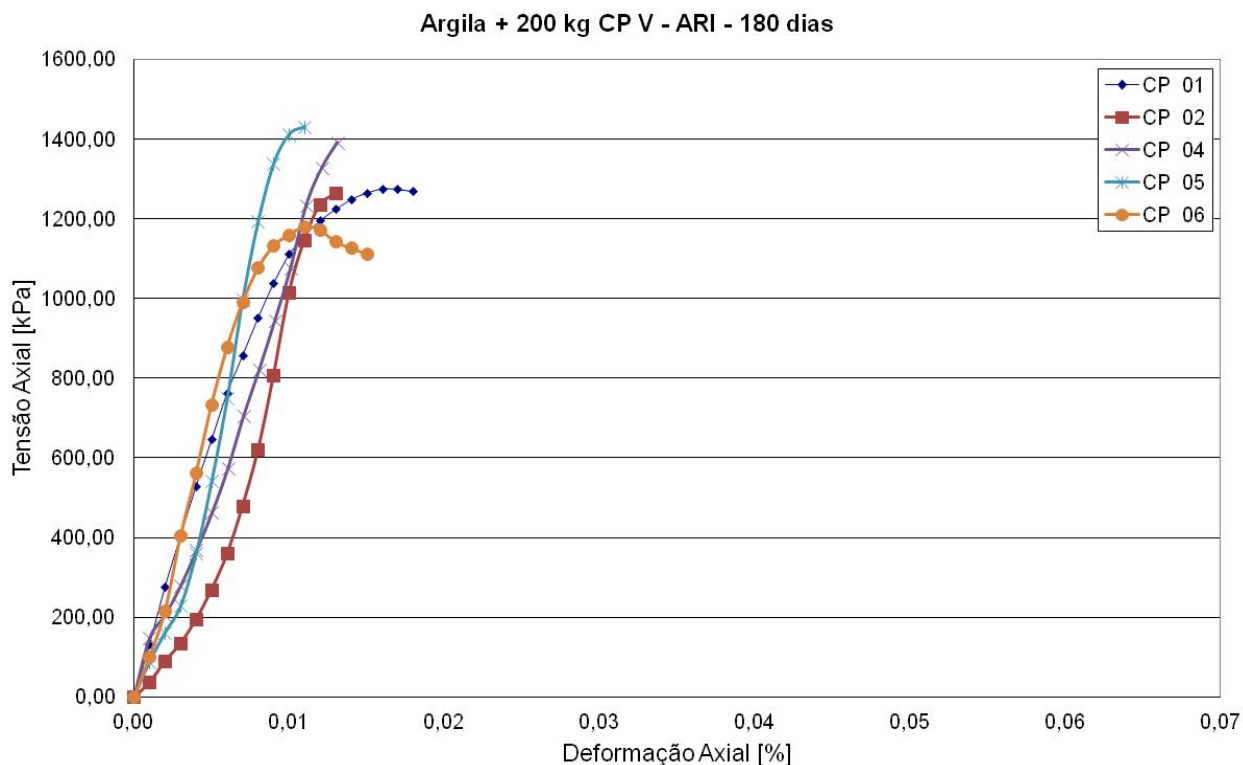


Gráfico 6. 16 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias

Já para a mistura com acréscimo de dosagem igual 200 kg de cimento CP V-ARI por metro cúbico de solo a resistência à compressão não confinada, tem ganhado maiores em relação aos resultados da mistura com dosagem de 100 kg deste mesmo cimento.

O ganho de resistência à compressão não confinada, nestas amostras, foi gradual, e a diferença de resistência à compressão não confinada aos 7 dias para os 28, continuou sendo a mais significativa. O aumento da resistência à compressão não confinada nestas argilas não estabiliza aos 28 dias, ou seja, ainda ocorre um ganho significativo aos 90 dias e um pequeno aumento aos 180 dias, subentendendo-se que o ganho de resistência à compressão não confinada pode ter sido estabilizado.

Portanto, como já havia se confirmado com o CP III – 40 RS, pode-se considerar que a dosagem de 200 kg de cimento é indicado para a técnica estudada neste trabalho, pois não houve uma dificuldade de reação entre os grãos do solo, água e cimento.

O resultado de resistência à compressão não confinada desta dosagem, comparado à dosagem de 200 kg com a utilização do cimento CP III – 40 RS, mostrou um aumento significativo. Este resultado deve-se à pureza do cimento CP V – ARI.

6.3.5 Ensaio 05 – Mistura: Argila + 15% Turfa + dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo

Os gráficos tensão axial *versus* deformação axial para mistura: Argila + 15% de turfa + dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS estão apresentados nos gráficos 6.17 a 6.20.

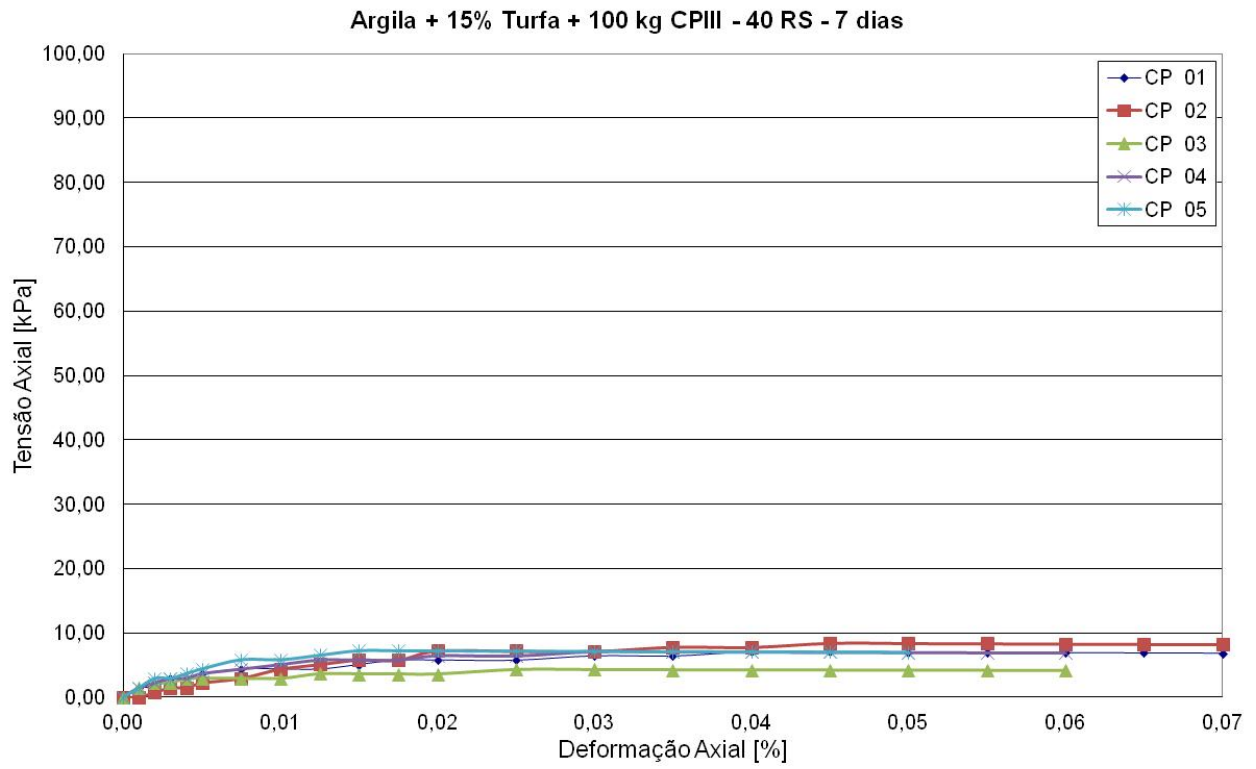


Gráfico 6. 17 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

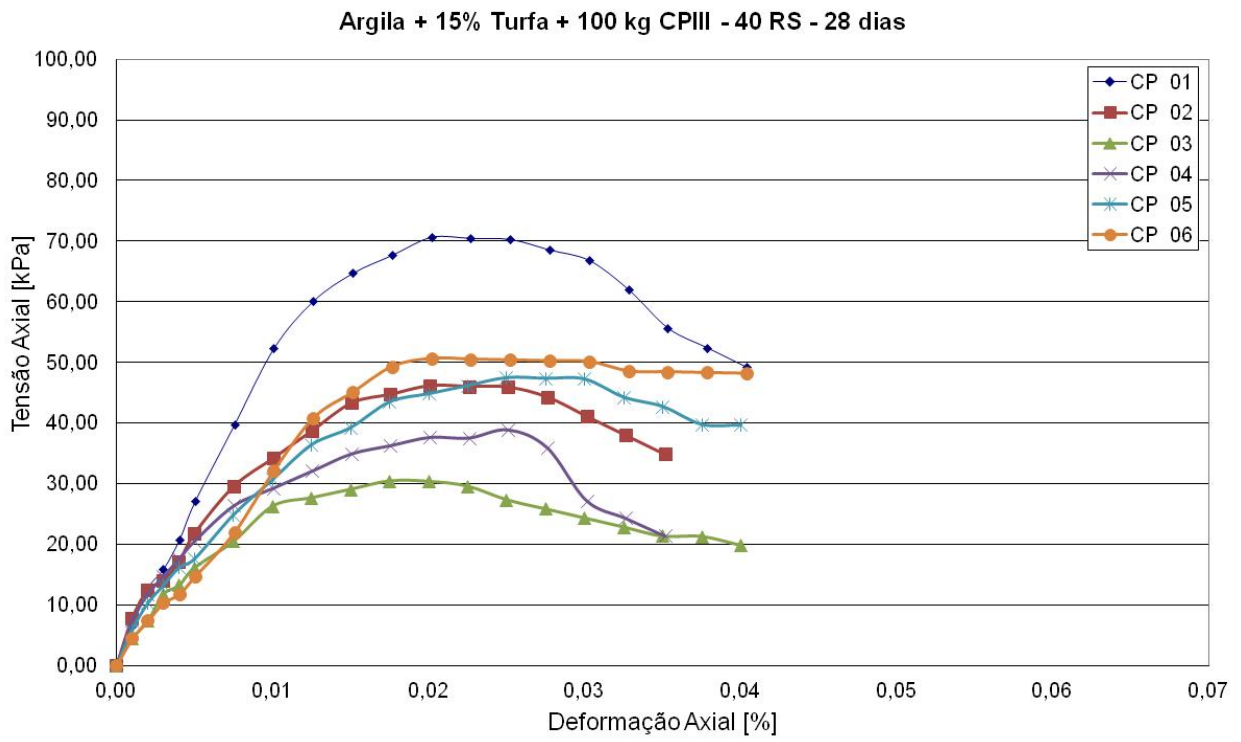


Gráfico 6. 18 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

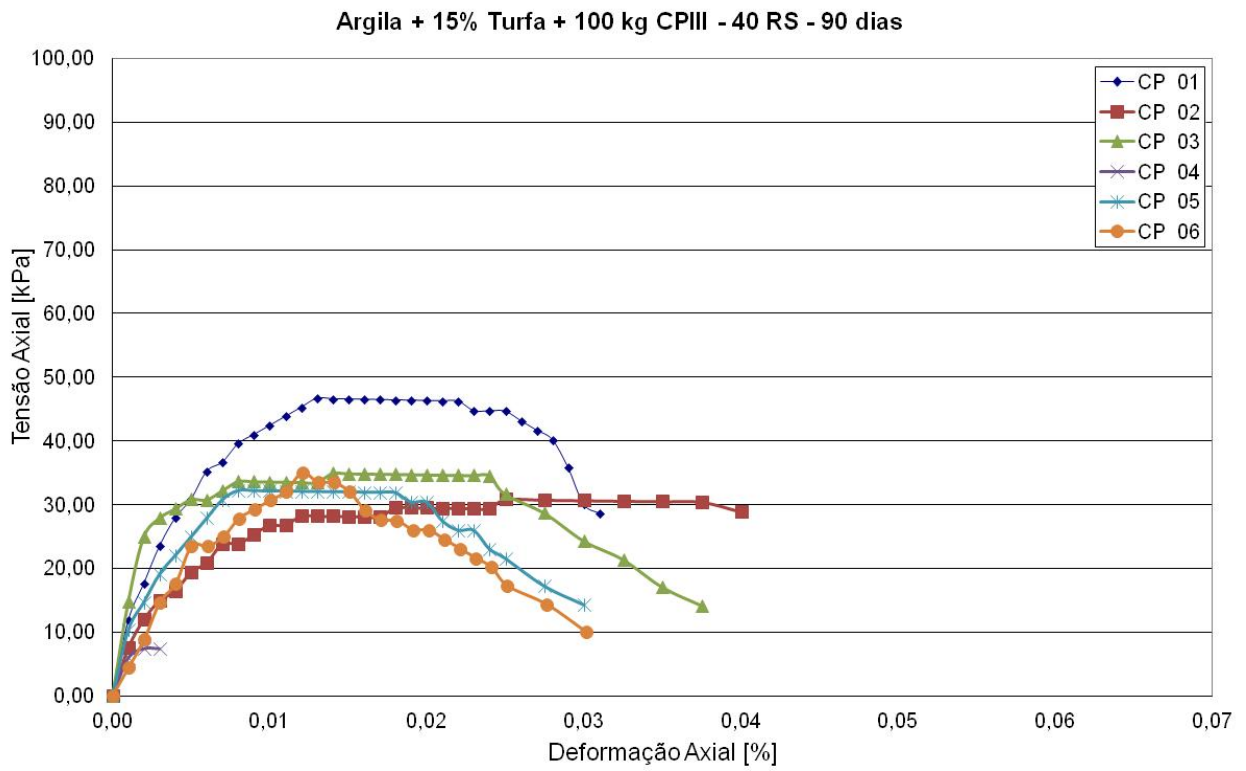


Gráfico 6. 19 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

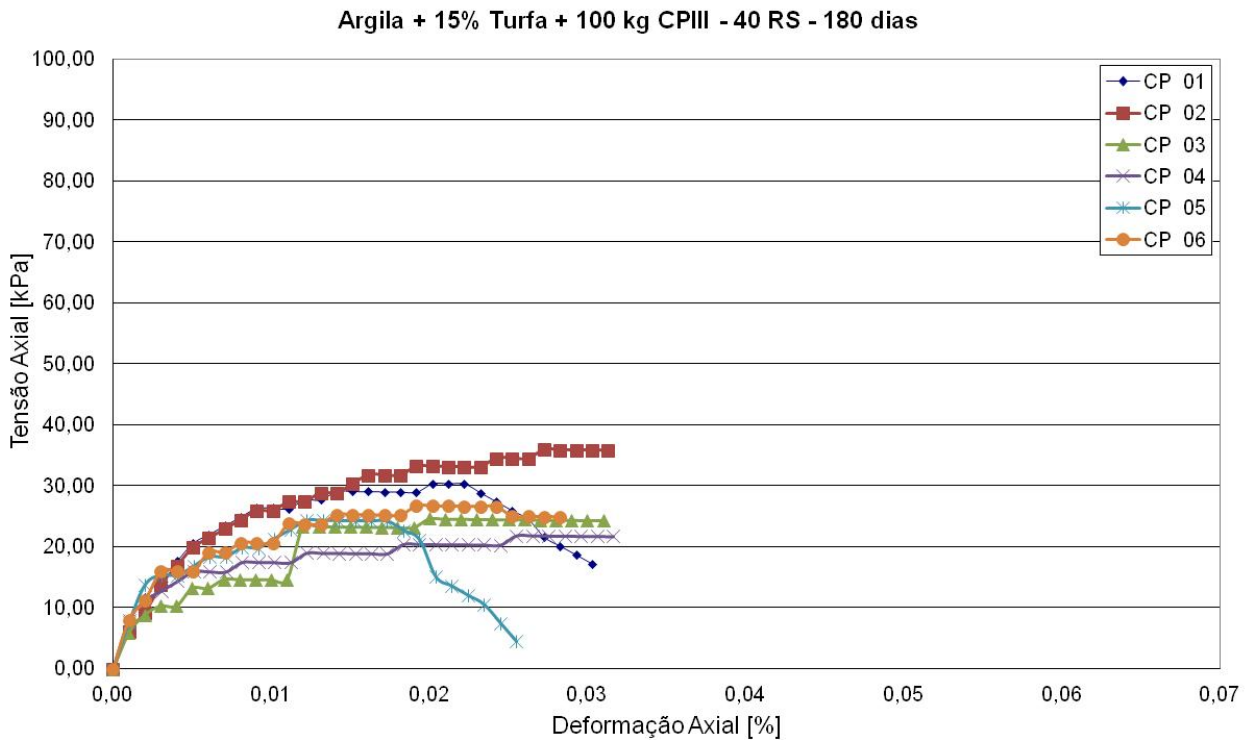


Gráfico 6. 20 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias

Para o tratamento realizado no perfil simulando argila contendo 15% de turfa, acrescido da dosagem de 100 kg de cimento CP III – 40 RS pode-se observar que a melhora de resistência à compressão não confinada foi quase nula nos 7 primeiros dias. Esta melhora, apesar de muito pequena, tem início nas idades acima de 28 dias. Apesar de um pequeno decréscimo na resistência à compressão não confinada alcançada aos 180 dias, pode-se considerar como estabilizada a massa de solo tratada.

O fato é que além da pequena dosagem de cimento acrescida a este solo, a quantidade de matéria orgânica foi aumentada ao se misturar a turfa. Sabe-se que a maioria dos solos podem ser tratados com cimento, mas existem solos que exigem tipos diferentes de aglomerante em dosagens mais elevadas.

Quando a mesma dosagem, 100 kg de cimento, foi utilizada na mistura com argilas “puras”, ou seja, sem acréscimo de matéria orgânica, o resultado foi um pouco superior a desta dosagem com o acréscimo. Isso confirma a teoria de que quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior a necessidade de uma dosagem mais rica de cimento.

6.3.6 Ensaio 06 – Mistura: Argila + 15% Turfa + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo

Os gráficos tensão axial *versus* deformação axial para mistura: Argila + 15% de turfa + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS estão apresentados nos gráficos 6.21 a 6.24.

Argila + 15% Turfa + 200 kg CIII - 40 RS - 7 dias

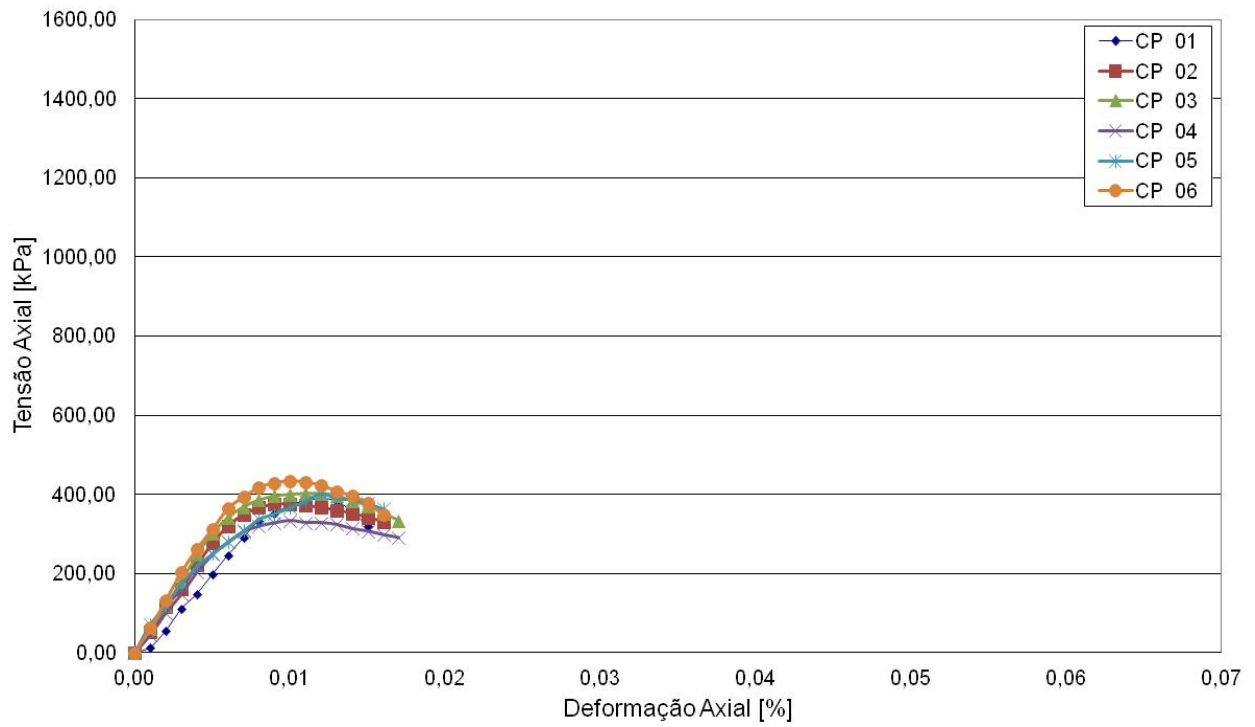


Gráfico 6. 21 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

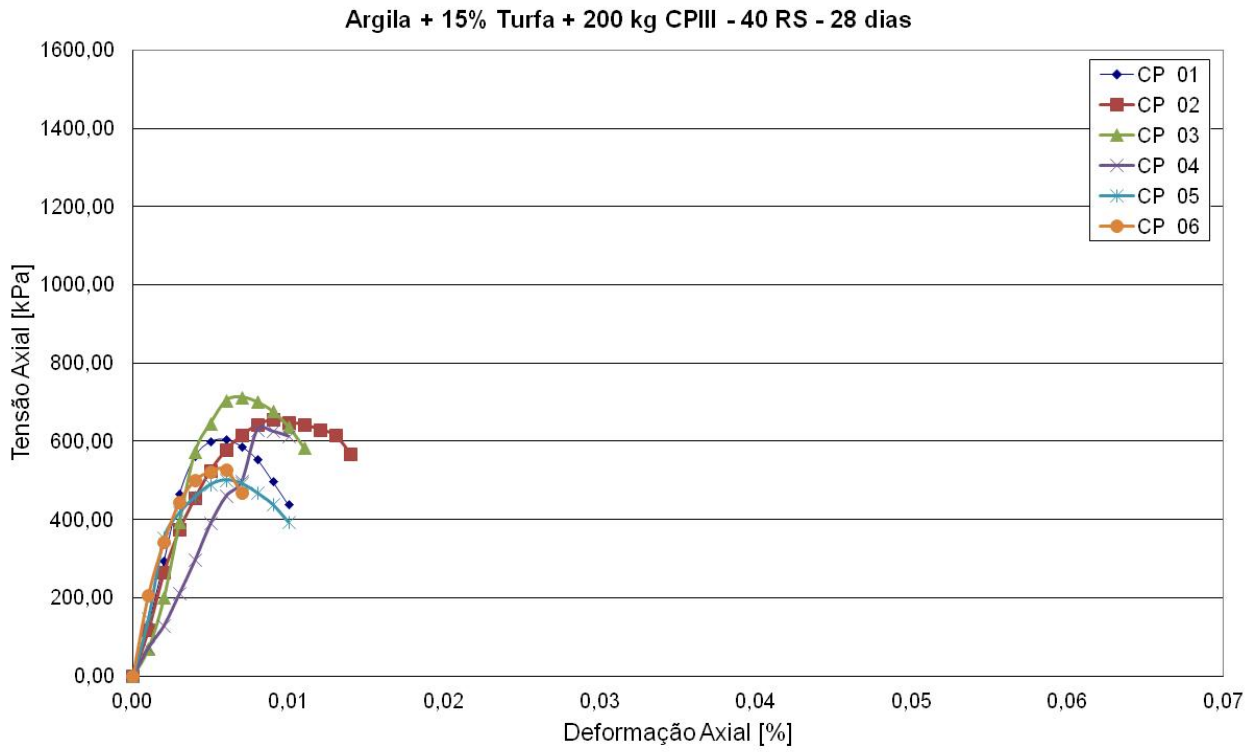


Gráfico 6. 22 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

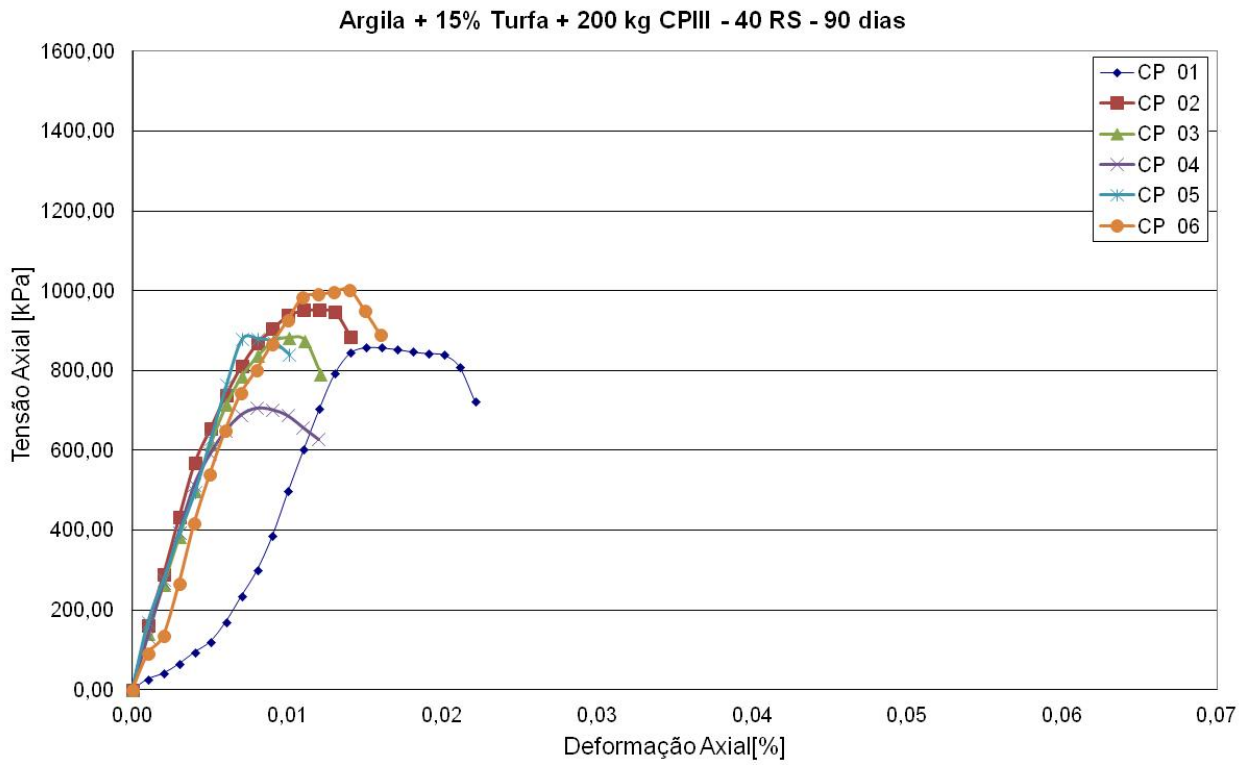


Gráfico 6. 23 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

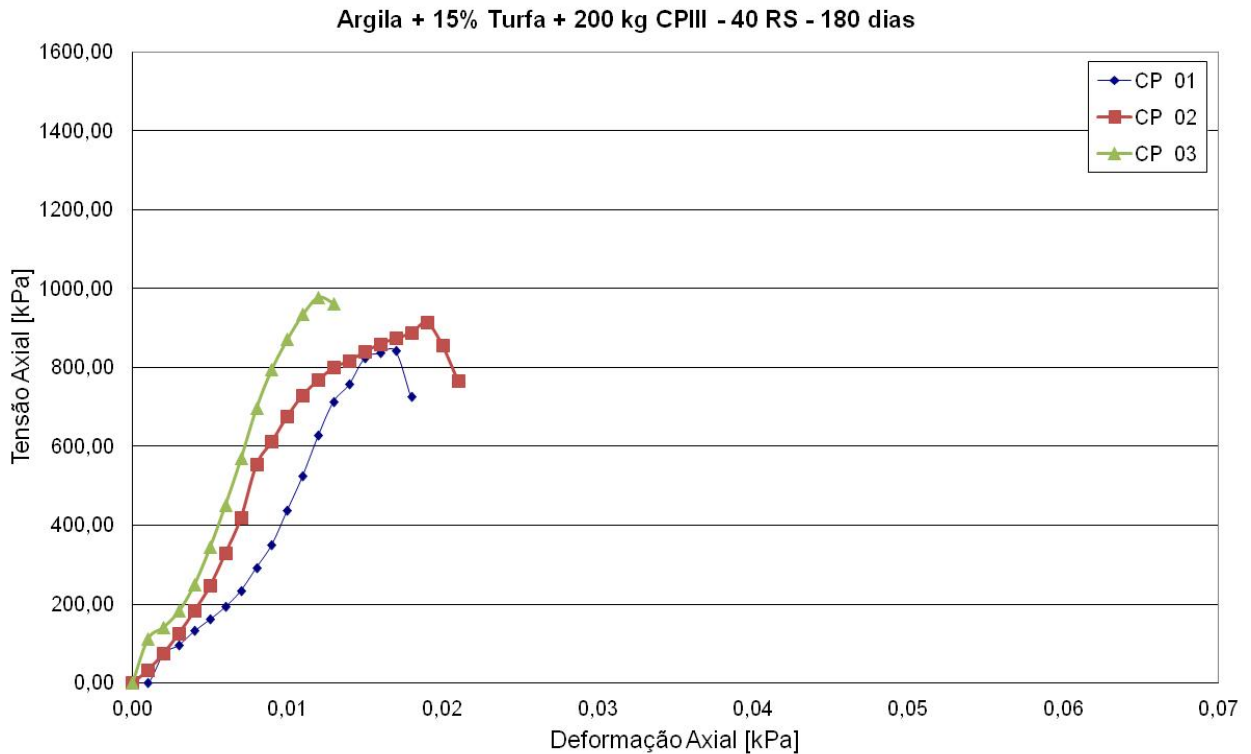


Gráfico 6. 24 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias

Para o tratamento realizado no perfil simulando argila contendo 15% de turfa, acrescido de 200 kg de cimento CP III – 40 RS pode-se observar que a melhora de resistência à compressão não confinada já se inicia na idade de 7 dias. Observa-se que esta melhora é crescente em todas as idades, pois a dosagem de aglomerante utilizada foi suficiente para que houvesse a reação. Como existe tratamento para a maioria dos solos com o acréscimo de cimento, as dosagens corretas devem ser estudadas, e somente será possível obtê-las por meio de testes preliminares. Os resultados que serão apresentados a seguir, em forma de gráficos, confirmam a possibilidade de tratamento do solo com o aumento de aglomerante.

Quando a mesma dosagem, 200 kg de cimento, foi utilizada na mistura com argilas “puras”, ou seja, sem acréscimo de matéria orgânica, o resultado foi similar a esta dosagem, com o acréscimo. Confirma-se assim, a viabilidade do sistema de estabilização Dry-Mix e a dosagem para este tipo de mistura.

6.3.7 Ensaio 07 – Mistura: Argila + 15% Turfa + Dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo

Os gráficos tensão axial *versus* deformação axial para mistura: Argila + 15% Turfa + dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP V – ARI estão apresentados nos gráficos 6.25 a 6.28.

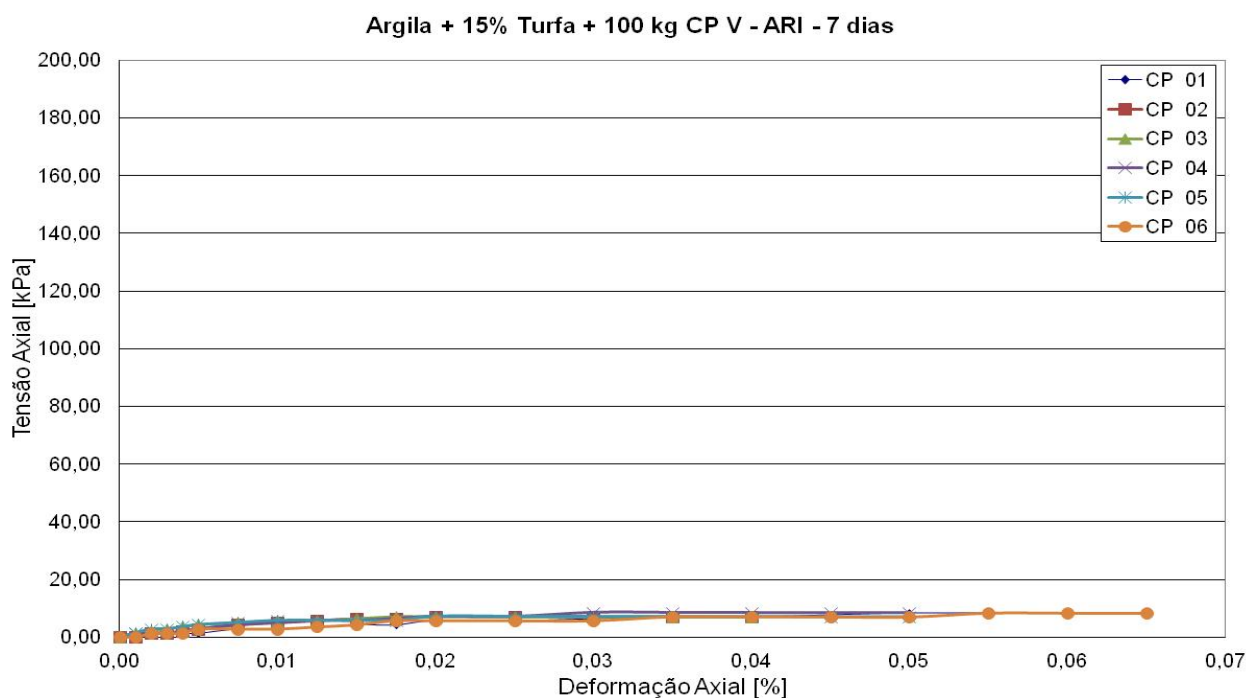


Gráfico 6. 25 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

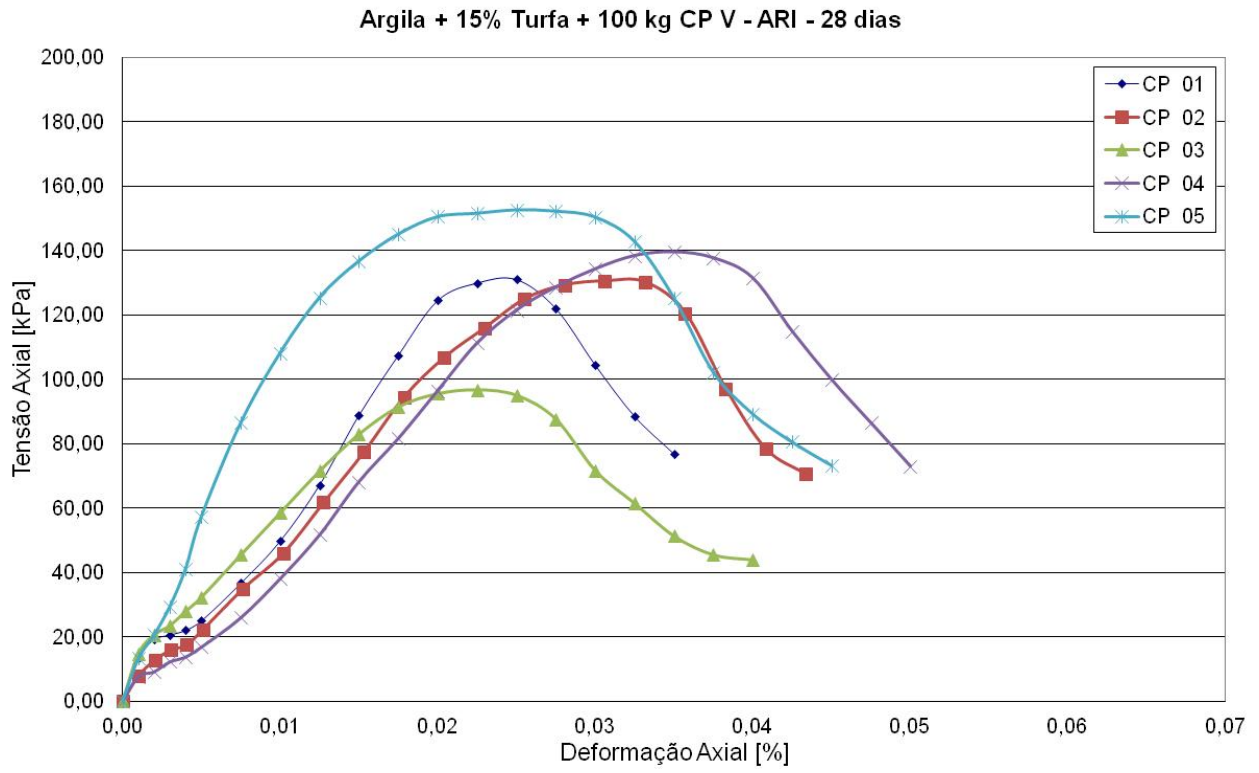


Gráfico 6. 26 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

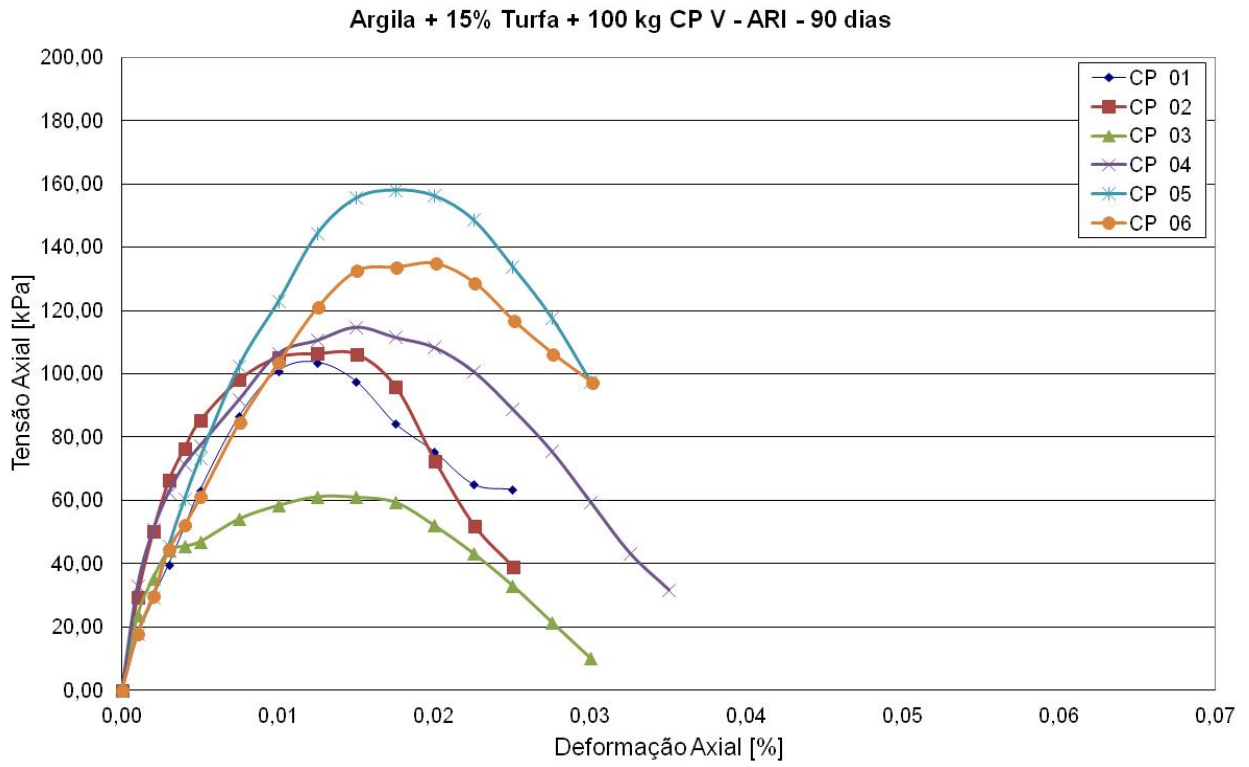


Gráfico 6. 27 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

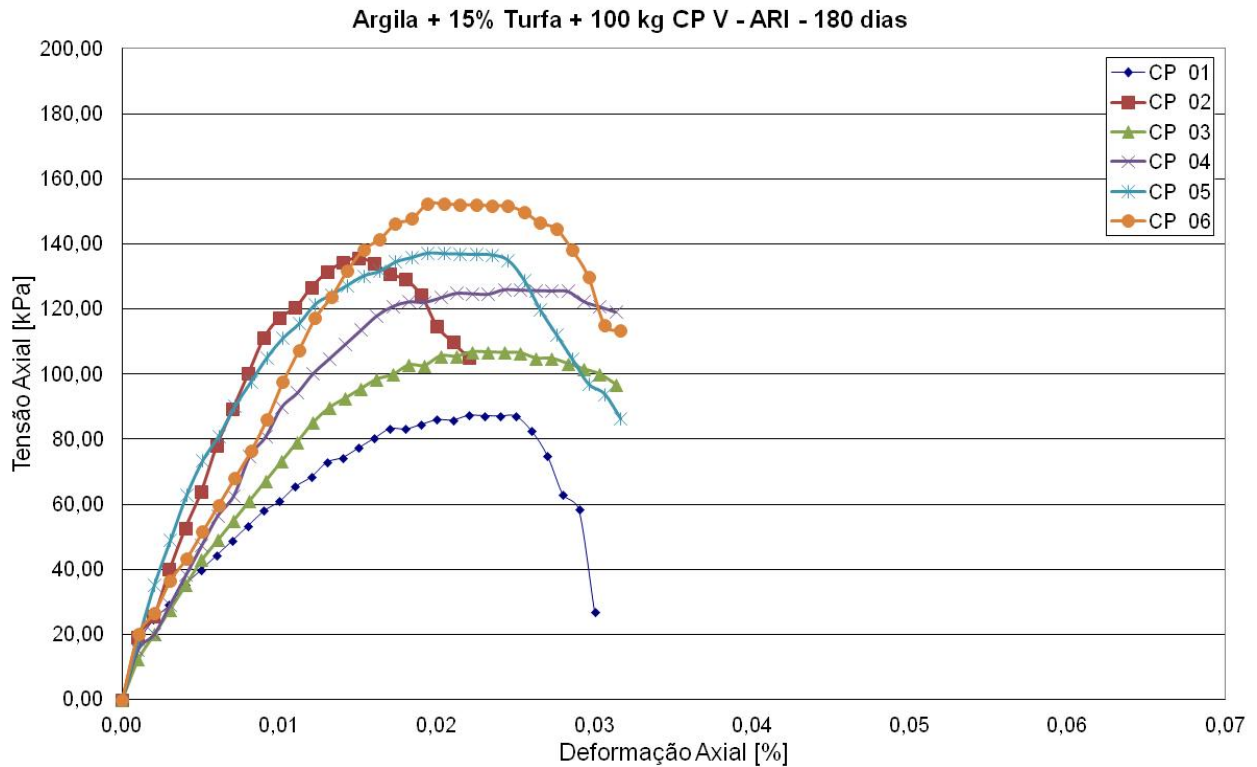


Gráfico 6. 28 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias

No tratamento realizado na mistura de argila + 15% de turfa, acrescida de 100 kg de cimento CP V- ARI, pode-se observar um aumento pouco maior na resistência à compressão não confinada em relação à dosagem em que se utilizou o cimento CP III. Confirma-se a premissa de que para solos com altos teores de matéria orgânica, há a necessidade de se ter dosagens de cimento mais elevadas para o sistema de estabilização Dry-Mix ser aplicado.

O ganho de resistência à compressão não confinada, nestas amostras, foi observado somente aos 28 dias, a partir dos quais o solo se mostrou estabilizado até a idade de 180 dias.

6.3.8 Ensaio 08 – Mistura: Argila + 15% Turfa + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo

Os gráficos tensão axial versus deformação axial para mistura: Argila + 15% Turfa + dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP V – ARI estão apresentados nos gráficos 6.29 a 6.32.

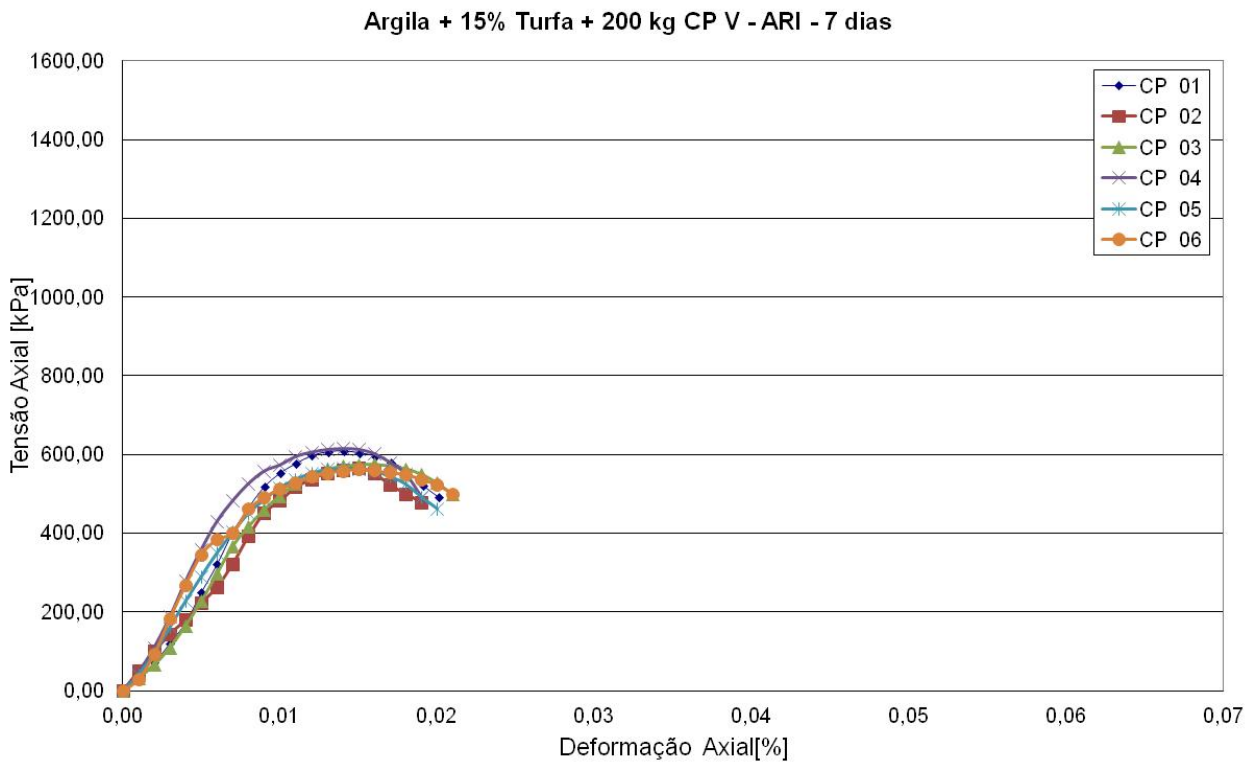


Gráfico 6. 29 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

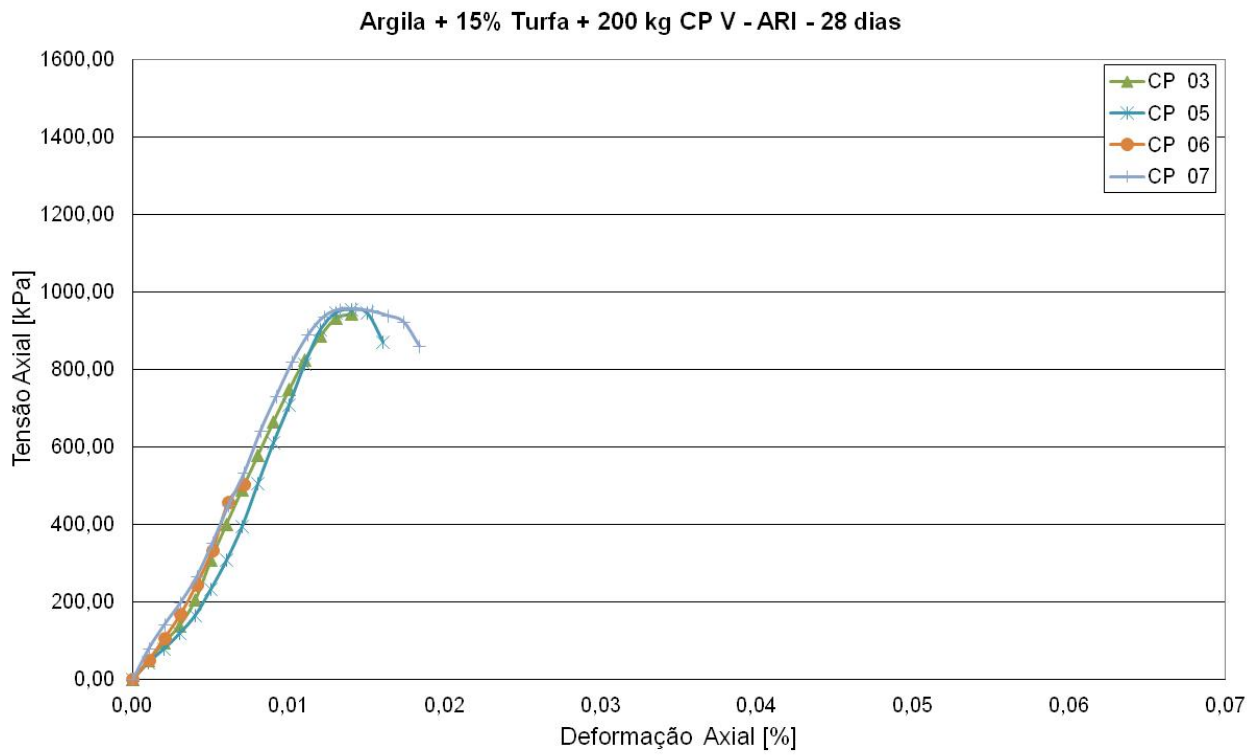


Gráfico 6. 30 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

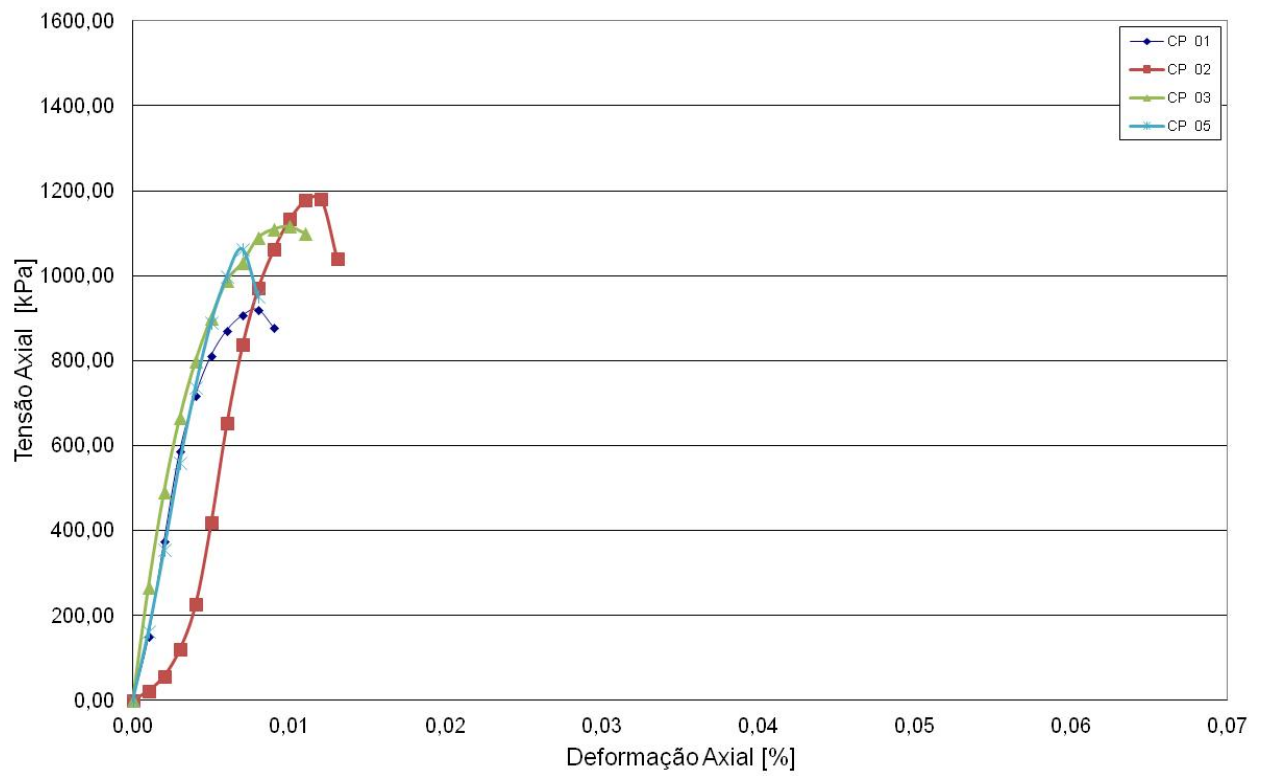


Gráfico 6. 31 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

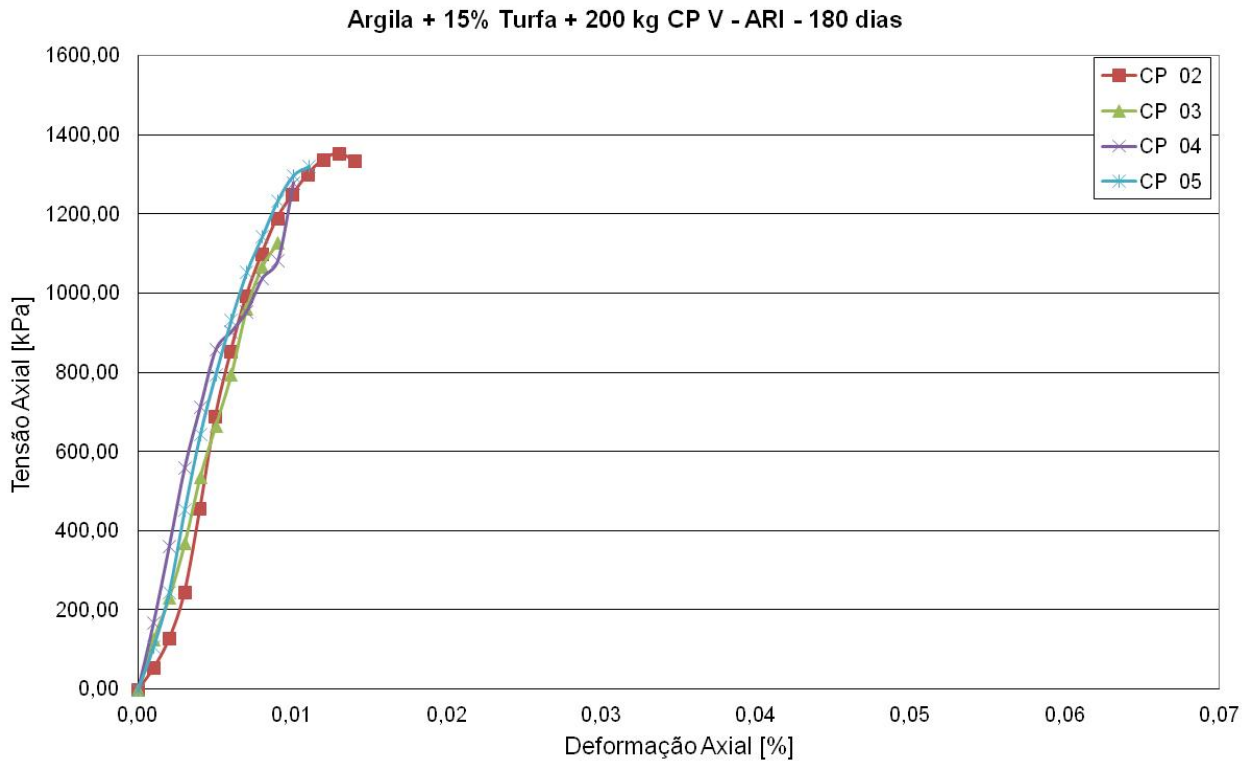


Gráfico 6. 32 – Tensão X Deformação Deformação – idade de 180 dias

Para o tratamento realizado na mistura de argila + 15% de turfa, acrescida de 200 kg de cimento CP V- ARI pode-se observar um aumento maior na resistência à compressão não confinada em relação à dosagem em que se utilizou do cimento CP III – 40 RS. Confirma-se, novamente, que para solos com teores elevados de matéria orgânica, há a necessidade de se ter dosagens de cimento mais elevadas para a utilização do sistema de estabilização Dry-Mix.

O ganho de resistência à compressão não confinada, nestas amostras, foi gradativo, e o aumento ocorreu continuamente até os 180 dias. Na utilização do cimento CP V - ARI, pode-se observar que o aumento da matéria orgânica não interferiu em sua reação, mantendo o aumento de resistência à compressão não confinada muito próximo aos das misturas que não tiveram acréscimo de matéria orgânica.

6.3.9 Ensaio 09 – Mistura: Argila + 30% Turfa + Dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo

Os gráficos tensão axial *versus* deformação axial para mistura: Argila + 30% Turfa + dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS estão apresentados nos gráficos 6.33 a 6.36.

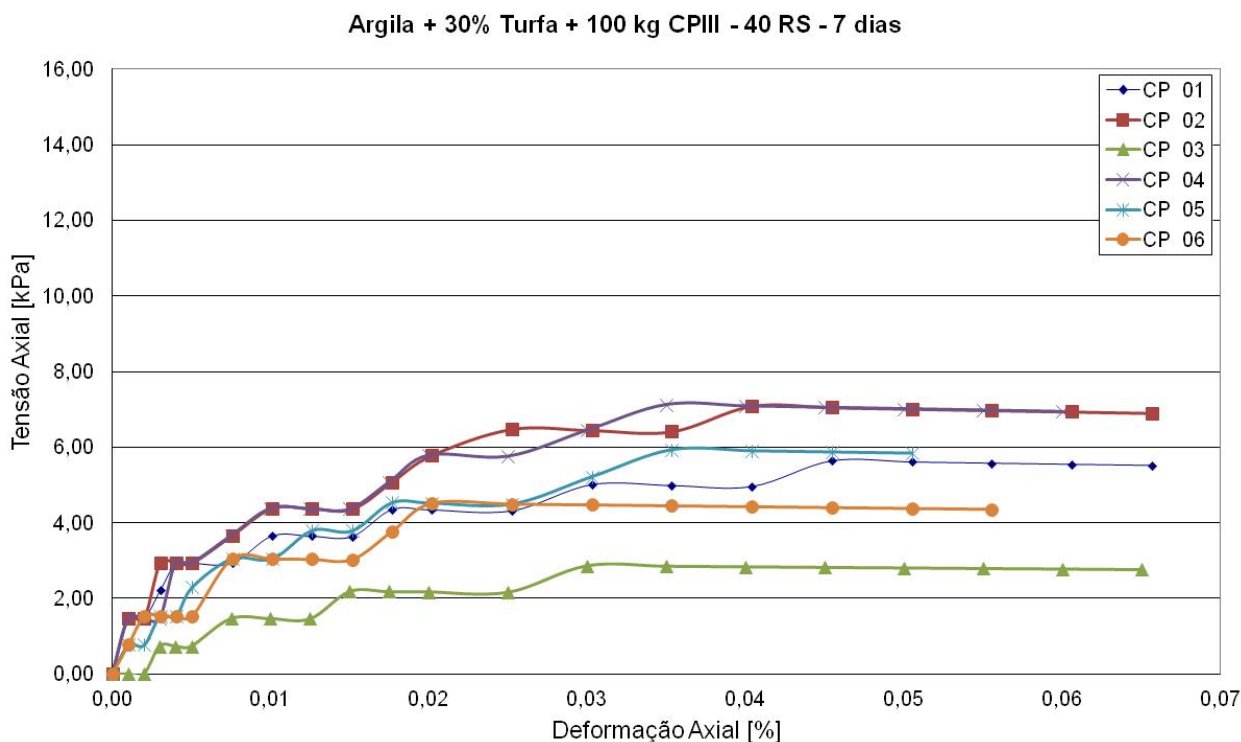


Gráfico 6. 33 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

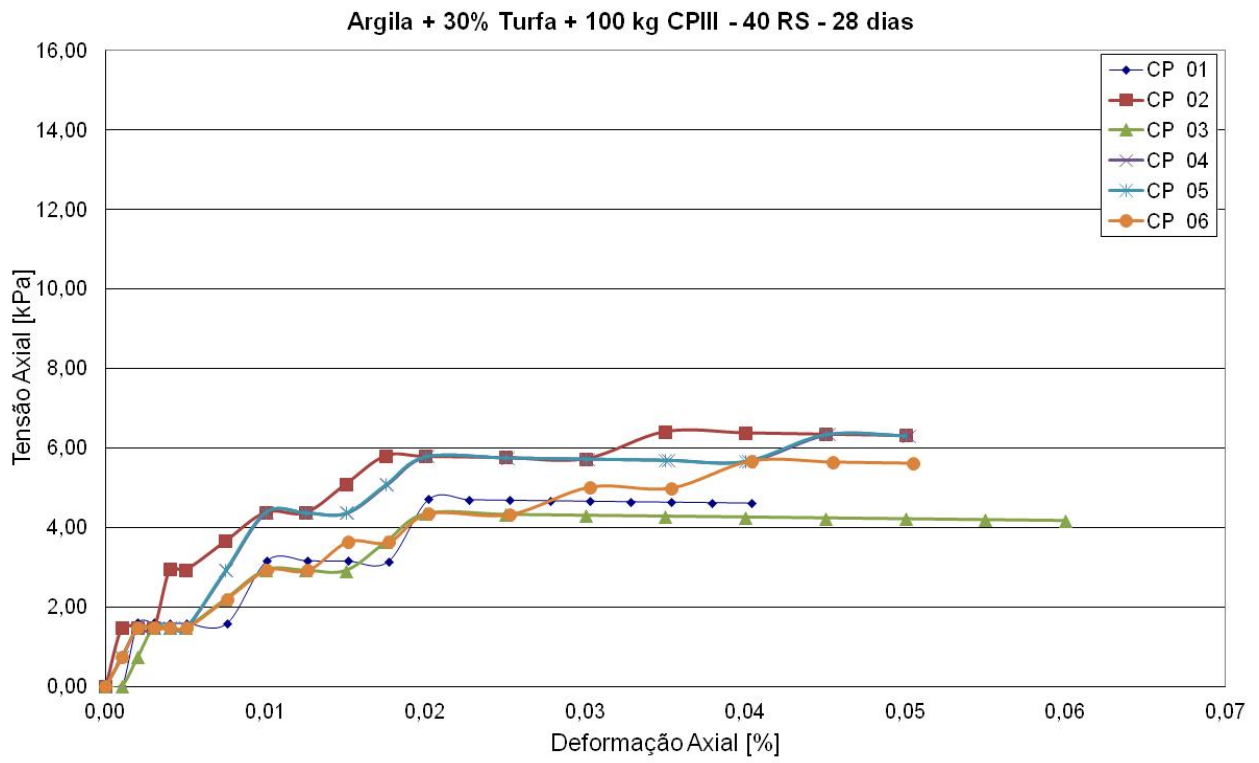


Gráfico 6. 34 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

Argila + 30% Turfa + 100 kg CIII - 40 RS - 90 dias

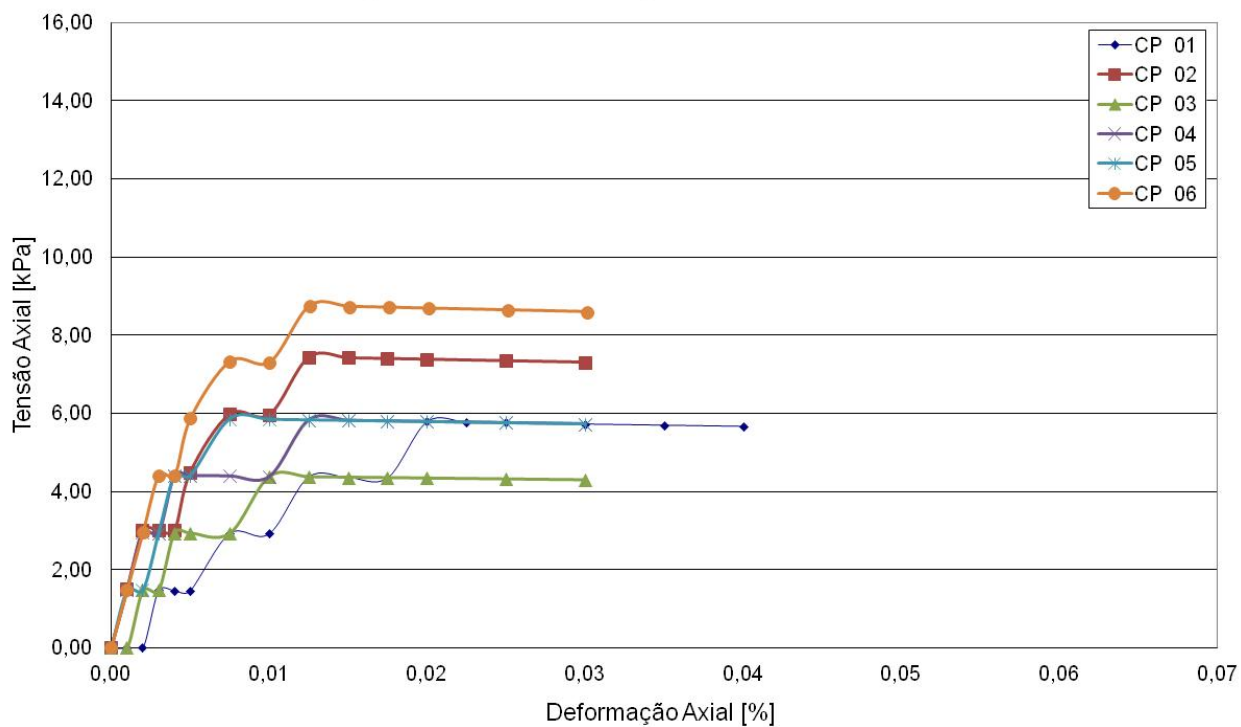


Gráfico 6. 35 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

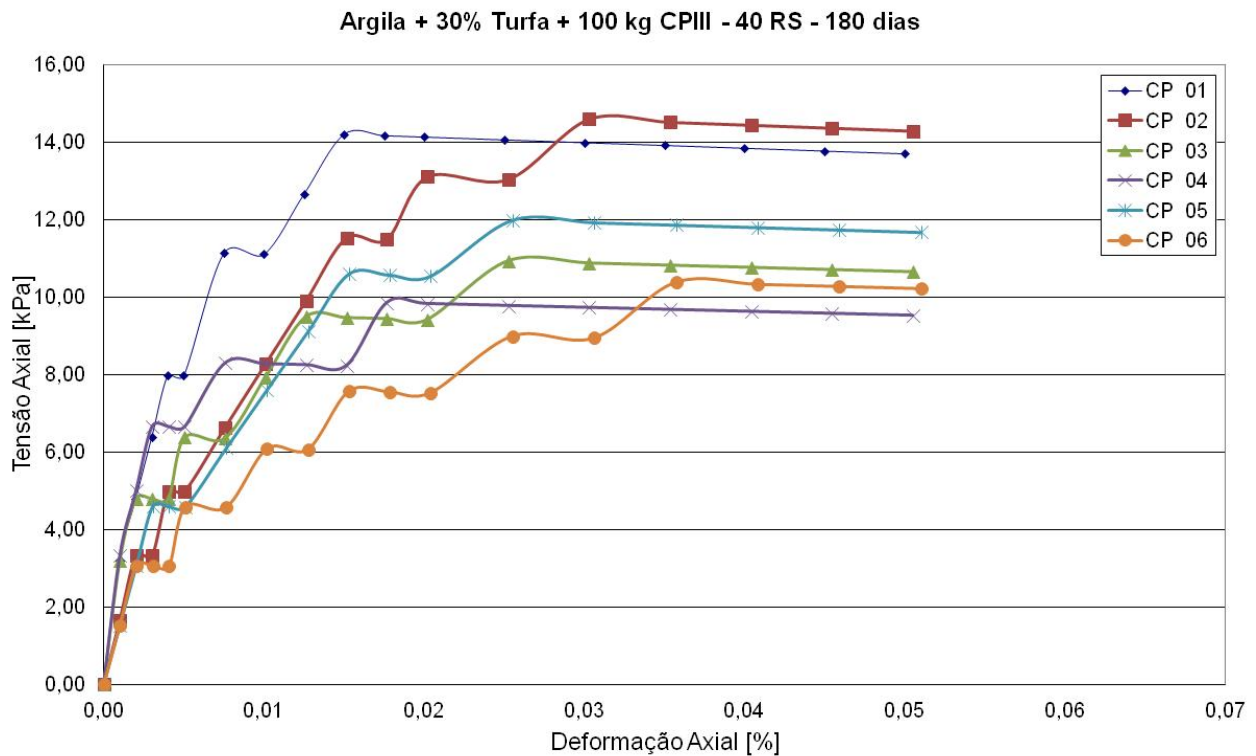


Gráfico 6. 36 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias

Para o tratamento realizado no perfil simulando argila contendo 30% de turfa, acrescido de 100 kg de cimento CP III – 40 RS não houve melhora de resistência à compressão não confinada. Isto ocorre devido à alta quantidade de matéria orgânica acrescida através da mistura com a turfa, e ao se tratar a mistura, utilizou-se de uma dosagem de cimento insatisfatória. Ou seja, este solo não apresentou condições de reação com a presença de dosagem de cimento baixa.

Ao se aumentar a quantidade de turfa contida no solo, aumentou-se ainda o índice de vazios contidos nesta massa, o que indica a necessidade de aumento na dosagem do material para preencher o vazio. Como a dosagem de cimento não foi suficiente, dificultou-se a reação solo-cimento.

Portanto, para esta amostra, a técnica sistema de estabilização Dry-Mix se tornaria inviável caso não fosse alterada a quantidade de cimento acrescida ao terreno.

Observa-se nos gráficos apresentados nas Figuras 4.33 a 4.36, que não houve alteração alguma nos resultados para todas as idades.

6.3.10 Ensaio 10 – Mistura: Argila + 30% Turfa + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS por m³ de solo

Os gráficos tensão axial *versus* deformação axial para mistura: Argila + 30% Turfa + dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP III – 40 RS estão apresentados nos gráficos 6.37 a 6.40.

Argila + 30% Turfa + 200 kg CIII - 40 RS - 7 dias

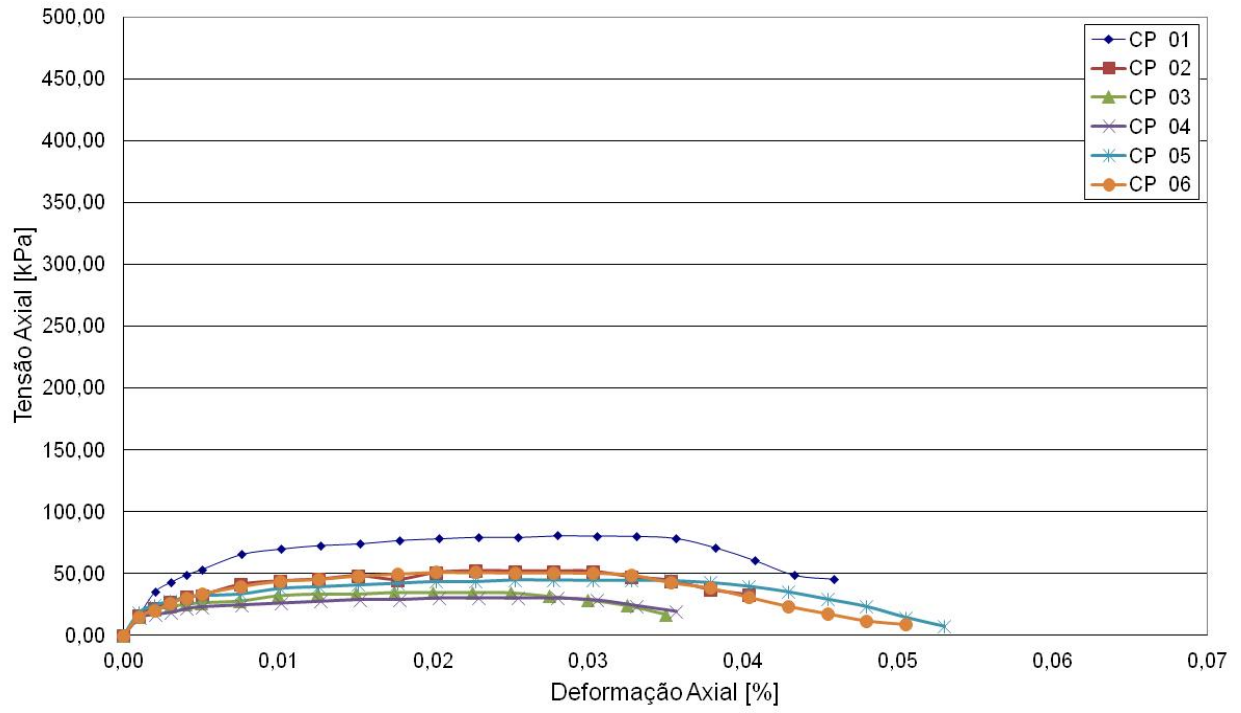


Gráfico 6. 37 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

Argila + 30% Turfa + 200 kg CIII - 40 RS - 28 dias

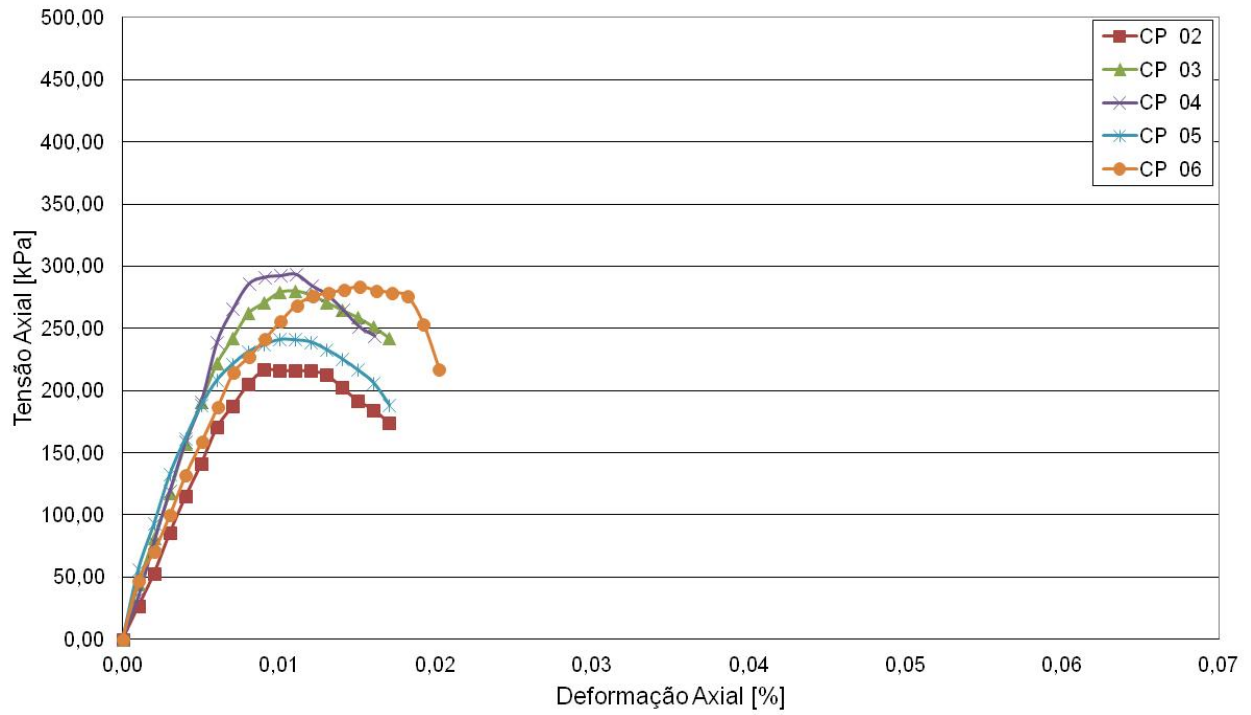


Gráfico 6. 38 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

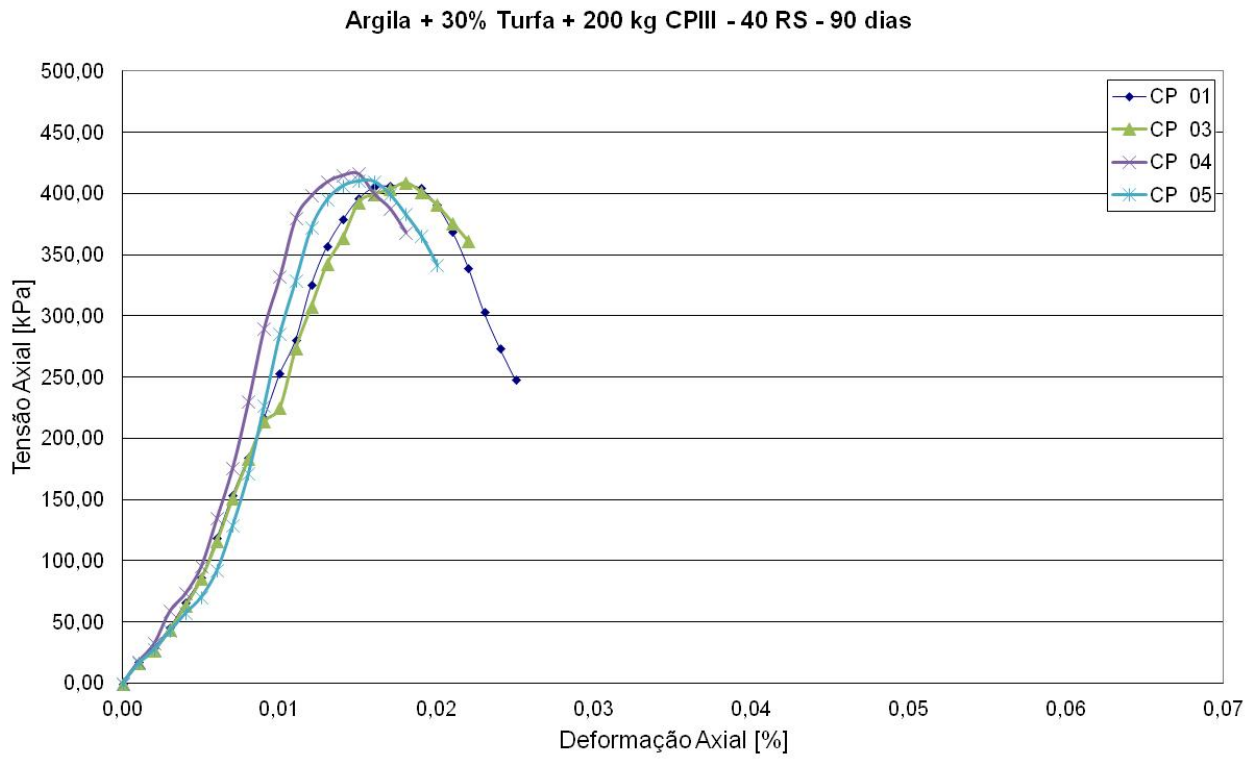


Gráfico 6. 39 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

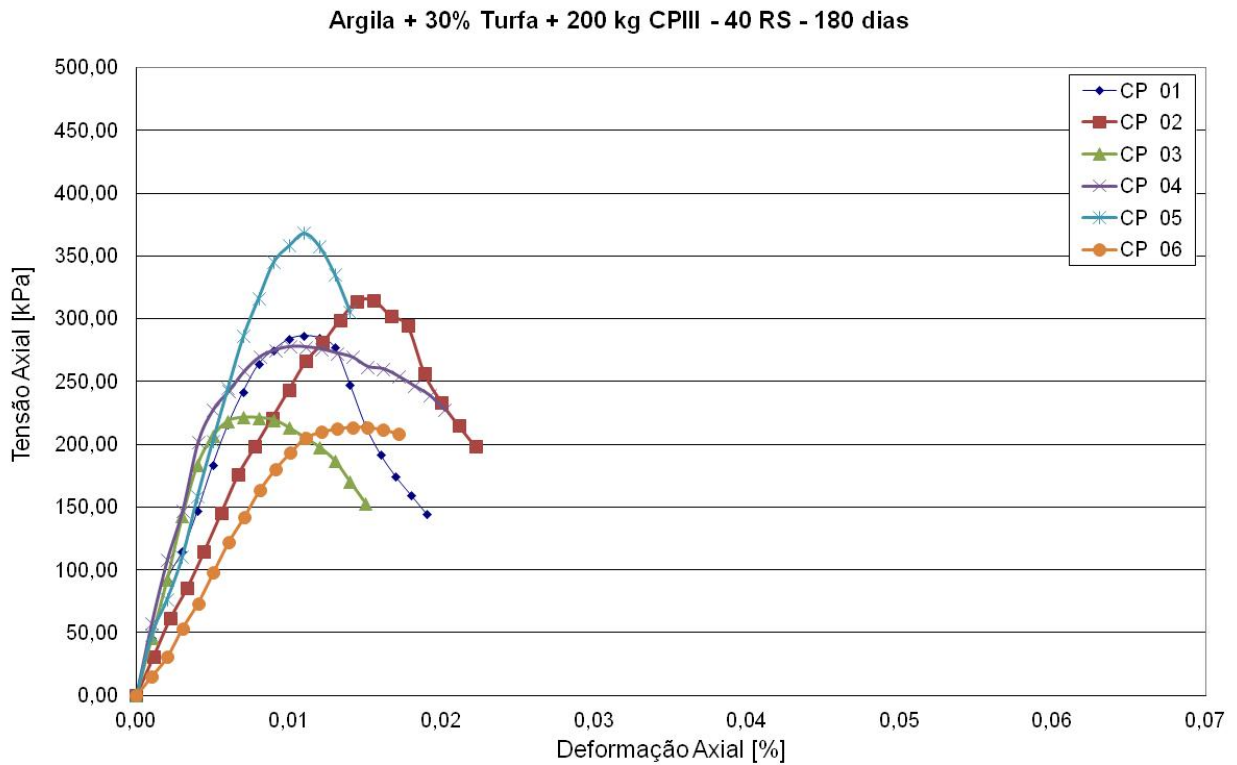


Gráfico 6. 40 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias

Para o tratamento realizado no perfil simulando argila contendo 30% de turfa, acrescido de 200 kg de cimento CP III – 40 RS, houve melhora significativa de resistência à compressão não confinada em relação à dosagem utilizando apenas 100 kg. O ganho de resistência à compressão não confinada foi gradativo de 7 a 90 dias; aos 180 dias de cura, houve uma queda no aumento de resistência à compressão não confinada, porém o resultado permaneceu próximo àquele observado aos 90 dias

Observa-se então que, para esta amostra, o sistema de estabilização Dry-Mix se tornaria inviável caso não fosse alterada a dosagem de cimento, mas também o tipo de aglomerante.

6.3.11 Ensaio 11 – Mistura: Argila + 30% Turfa + Dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo

Os gráficos tensão *axial* versus deformação axial para mistura: Argila +30% Turfa + dosagem de 100 kg de Cimento Portland CP V – ARI estão apresentados nos gráficos 6.41 a 6.44.

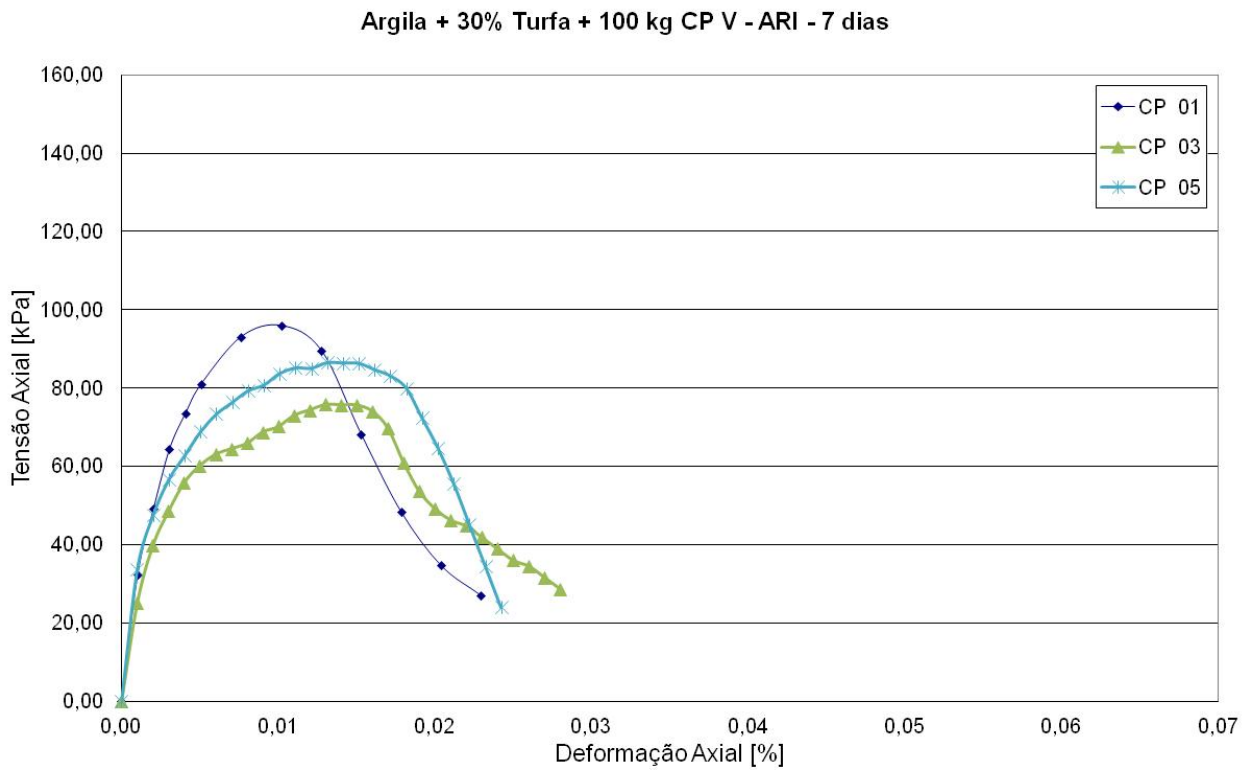


Gráfico 6. 41 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

Argila + 30% Turfa + 100 kg CP V - ARI - 28 dias

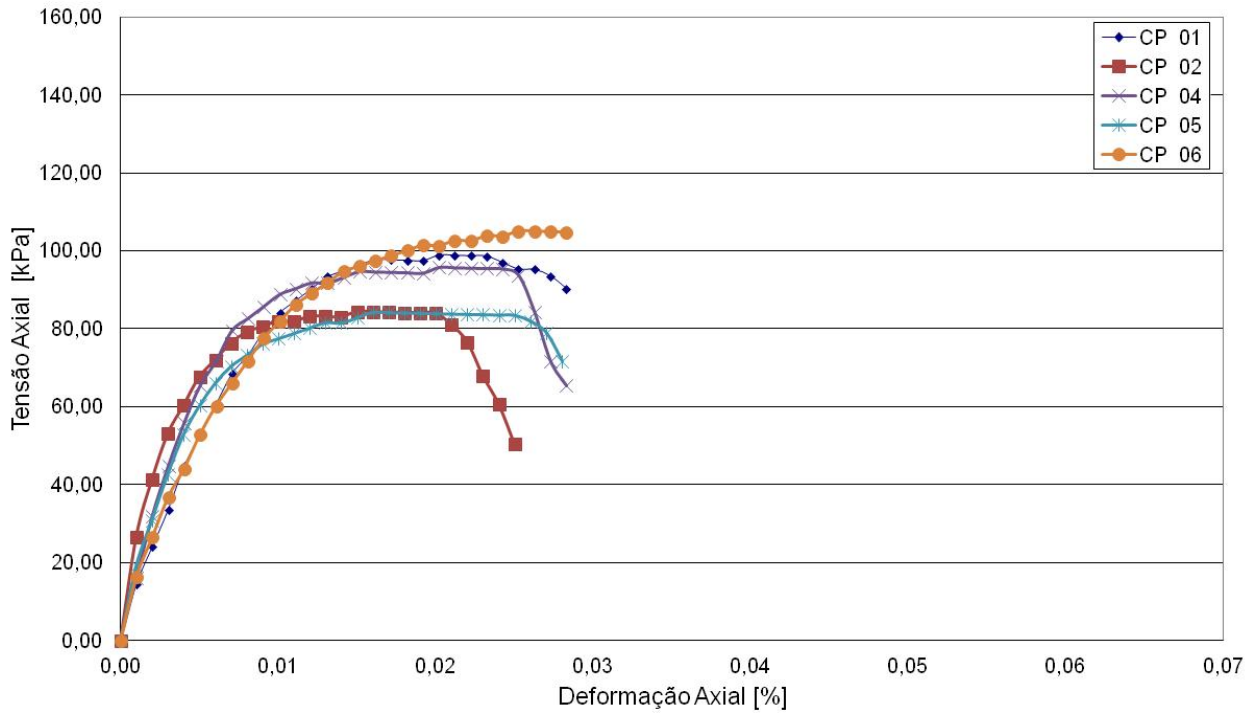


Gráfico 6. 42 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

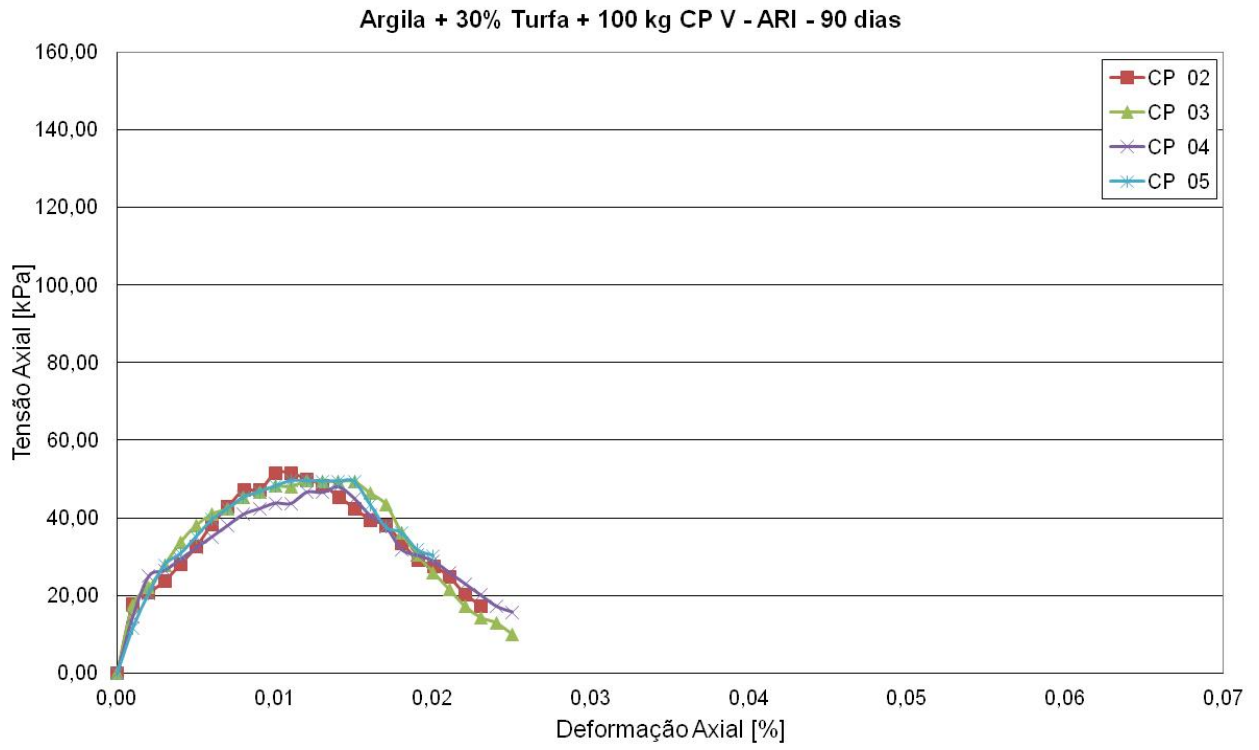


Gráfico 6. 43 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

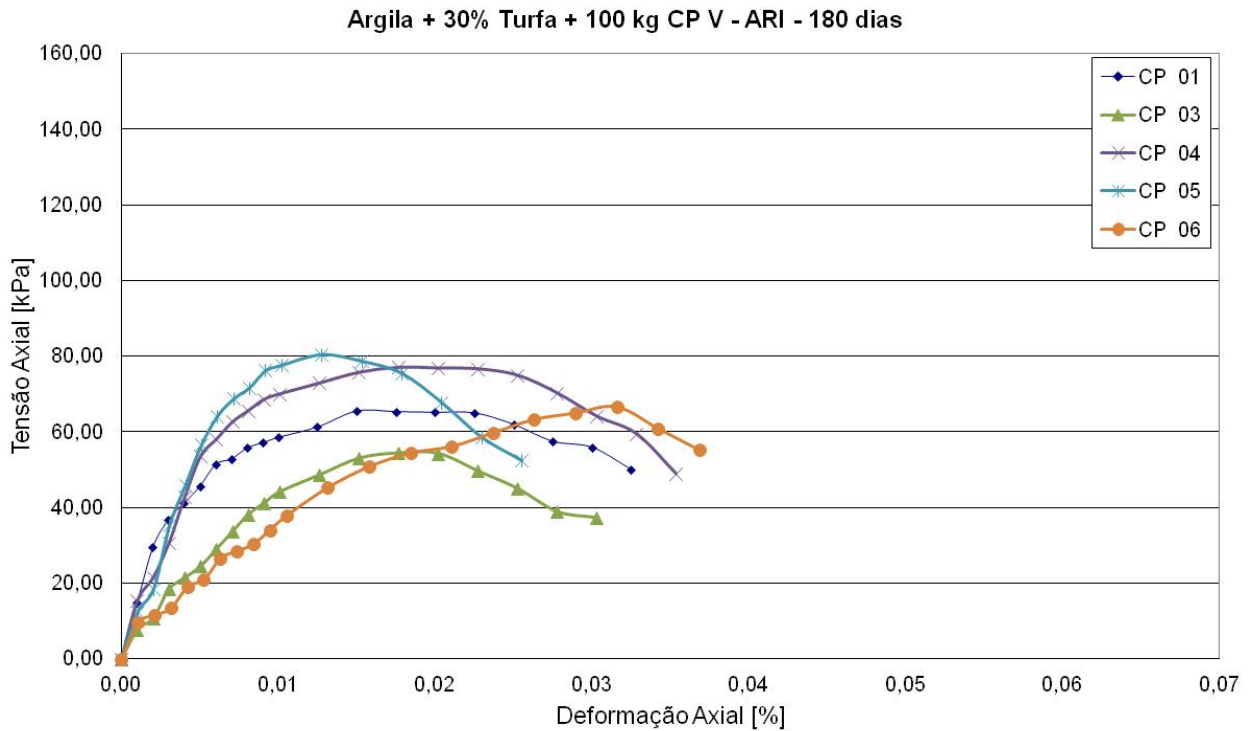


Gráfico 6. 44 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias

O tratamento realizado na mistura de argila + 30% de turfa, acrescida de 100 kg de cimento CP V- ARI, diferente da dosagem de 100 kg com o cimento CP III – 40 RS, indicou resistência à compressão não confinada nos corpos-de-prova, porém não houve diferença de resistência à compressão não confinada entre idades. Isto porque, em solos com teores de matéria orgânica, há a necessidade de elevarem-se as dosagens de cimento.

6.3.12 Ensaio 12 – Mistura: Argila + 30% Turfa + Dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP V – ARI por m³ de solo

Os gráficos tensão axial *versus* deformação axial para mistura: Argila +30% Turfa + dosagem de 200 kg de Cimento Portland CP V – ARI estão apresentados nos gráficos 6.45 a 6.49.

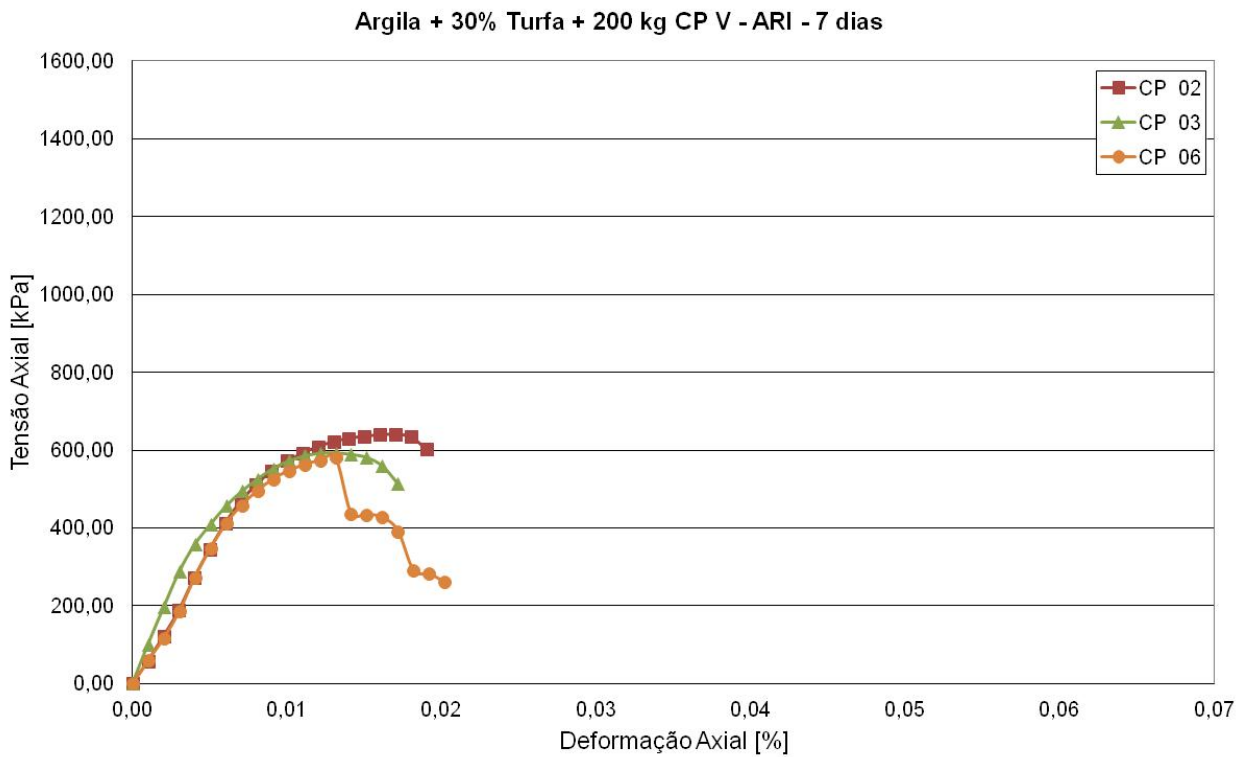


Gráfico 6. 45 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 7 dias

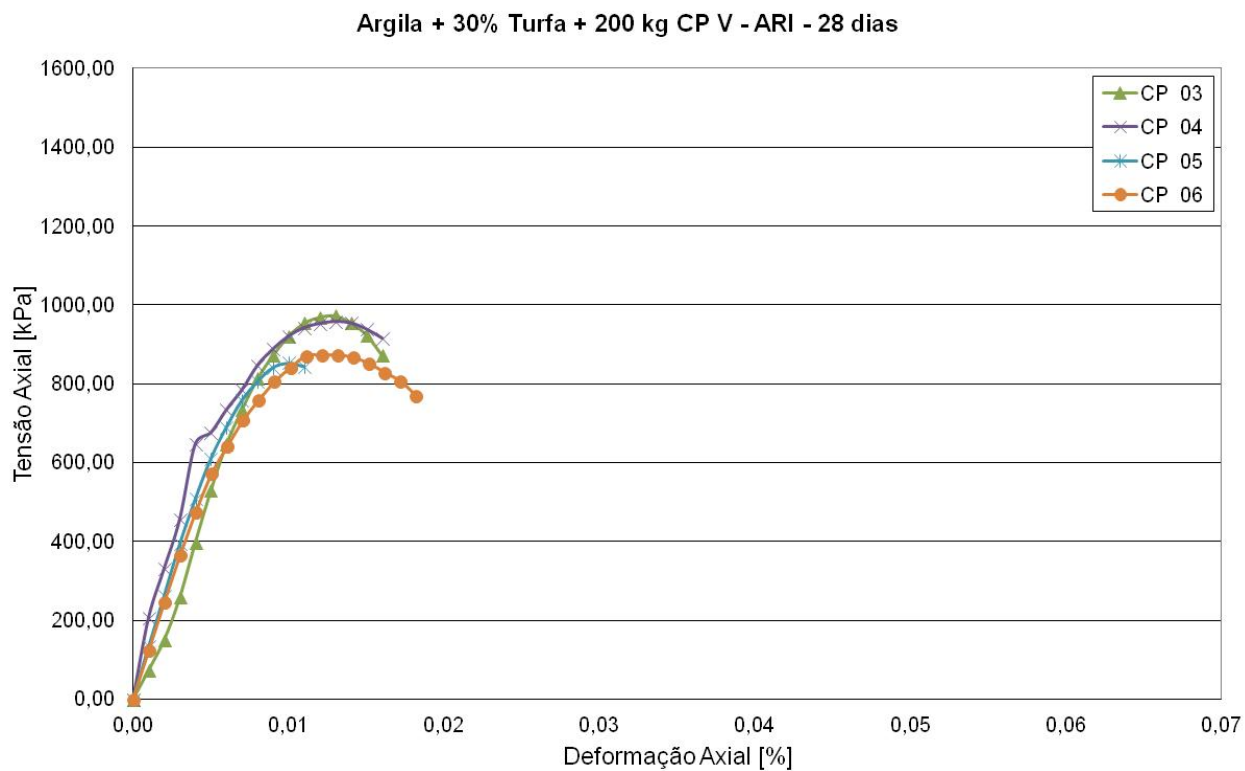


Gráfico 6. 46 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 28 dias

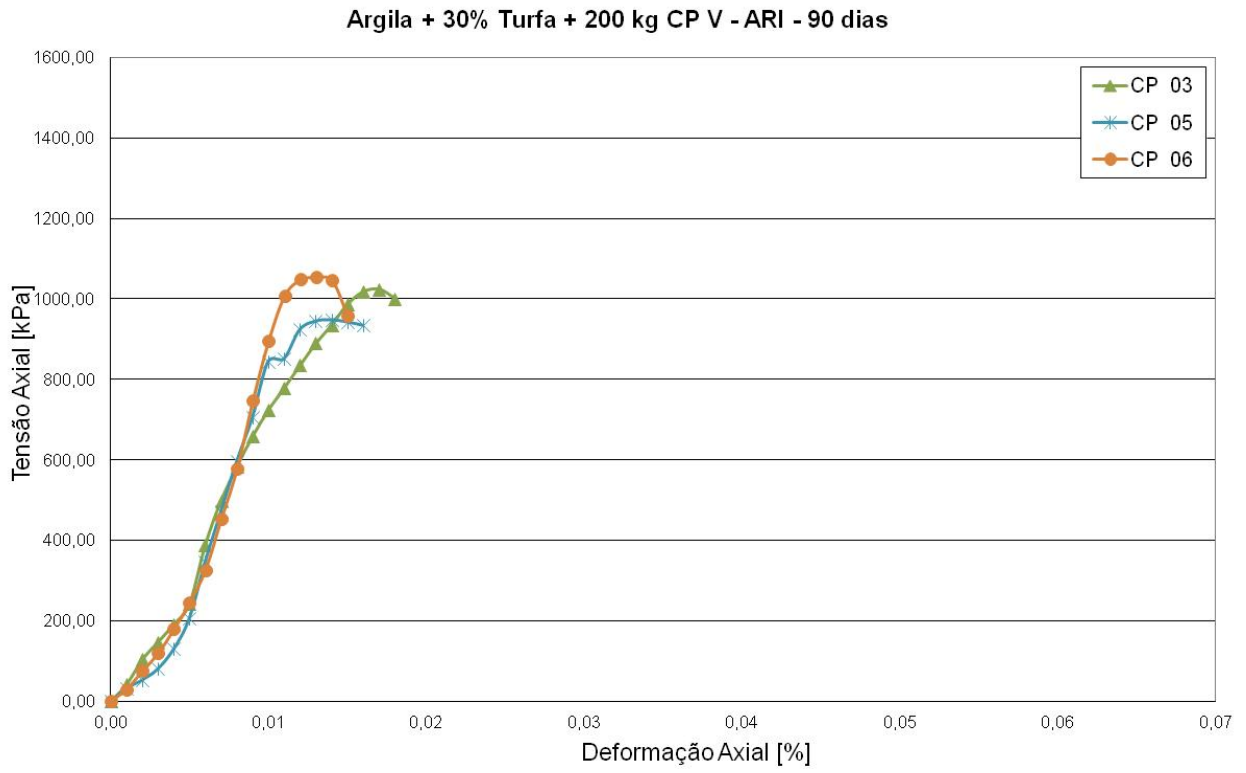


Gráfico 6. 47 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 90 dias

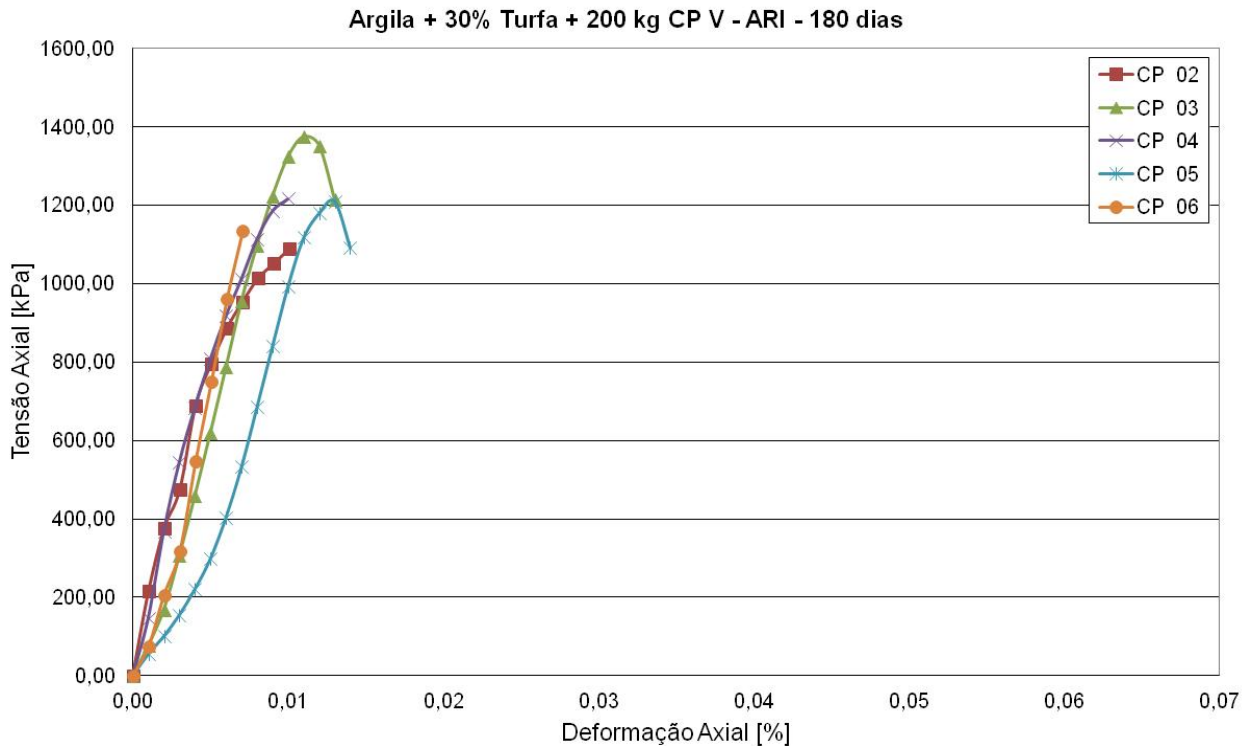


Gráfico 6. 48 – Tensão Axial X Deformação Axial – idade de 180 dias

O cimento Portland de alta resistência inicial CP V – ARI se apresentou mais efetivo e, portanto, mais conveniente no caso de misturas com acréscimo de matéria orgânica, pois este tipo de cimento apresenta maiores dosagens de clínquer, permitindo uma reação de hidratação mais rápida. Percebe-se, nesta dosagem, que a quantidade de matéria orgânica presente na mistura, não afeta as reações entre este tipo de solo e este tipo de cimento.

Para o tratamento realizado na mistura de argila + 30% de turfa, acrescida de 200 kg de cimento CP V- ARI pode-se observar um aumento gradativo e significativo na resistência à compressão não confinada em relação à dosagem em que se utilizou o cimento CP III – 40 RS. Confirma-se a eficácia deste tipo de aglomerante para solos com teores ainda mais elevados de matéria orgânica.

O ganho de resistência à compressão não confinada, nestas amostras, foi apresentado em todas as idades. Observa-se, nestes resultados, que há uma tendência de melhora no comportamento do material tratado, com o aumento da dosagem de cimento.

Sabe-se que os mecanismos de estabilização se devem a ligações mecânicas e químicas entre o cimento e a superfície rugosa dos grãos do solo. A cimentação é mais efetiva quanto maior o número de contatos, portanto, quanto maior a quantidade de aglomerante, no caso cimento, mais efetivos serão os resultados obtidos.

Através dos gráficos apresentados 6.1 a 6.48, é possível verificar o ganho de resistência à compressão não confinada das amostras, em cada idade, de acordo com os tipos e dosagens de cimento.

6.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Após plotagem dos gráficos de tensão axial *versus* deformação axial, criados a partir dos resultados dos ensaios de resistência à compressão não confinada, foram obtidos os valores médios de Módulo de Elasticidade (E), pelo método tangencial. As Tabelas 6.3 a 6.5 apresentam os resultados.

Para as misturas de argila com cimento, os resultados, apresentados nas Tabelas 6.3 a 6.5, e comparados nos gráficos 6.49 a 6.51, percebe-se um aumento crescente no Módulo de Elasticidade. Isto está ligado à sua rigidez, com o passar do tempo há um ganho de resistência à compressão não confinada do material e com isso o aumento na sua rigidez, logo em seu módulo também.

Tabela 6. 3 – Resultados dos Módulos de Elasticidade (E) nas misturas com argila

| Dosagem | Idade (dias) | Tensão axial (kPa) | Deformação axial (%) | E (MPa) |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|
| Argila + 100 kg CP III - 40 RS | 7 | 30,0 | 0,006 | 5,0 |
| | 28 | 87,0 | 0,010 | 8,7 |
| | 90 | 100,0 | 0,007 | 14,3 |
| | 180 | 40,0 | 0,005 | 8,0 |
| Argila + 200 kg CP III - 40 RS | 7 | 400,0 | 0,008 | 53,3 |
| | 28 | 800,0 | 0,005 | 160,0 |
| | 90 | 1.200,0 | 0,008 | 150,0 |
| | 180 | 1.200,0 | 0,010 | 120,0 |
| Argila + 100 kg CP V - ARI | 7 | 120,0 | 0,010 | 12,0 |
| | 28 | 170,0 | 0,010 | 17,0 |
| | 90 | 110,0 | 0,005 | 22,0 |
| | 180 | 80,0 | 0,010 | 8,0 |
| Argila + 200 kg CP V - ARI | 7 | 530,0 | 0,011 | 48,0 |
| | 28 | 1.000,0 | 0,010 | 100 |
| | 90 | 1.000,0 | 0,008 | 133,3 |
| | 180 | 1.100,0 | 0,009 | 122,2 |

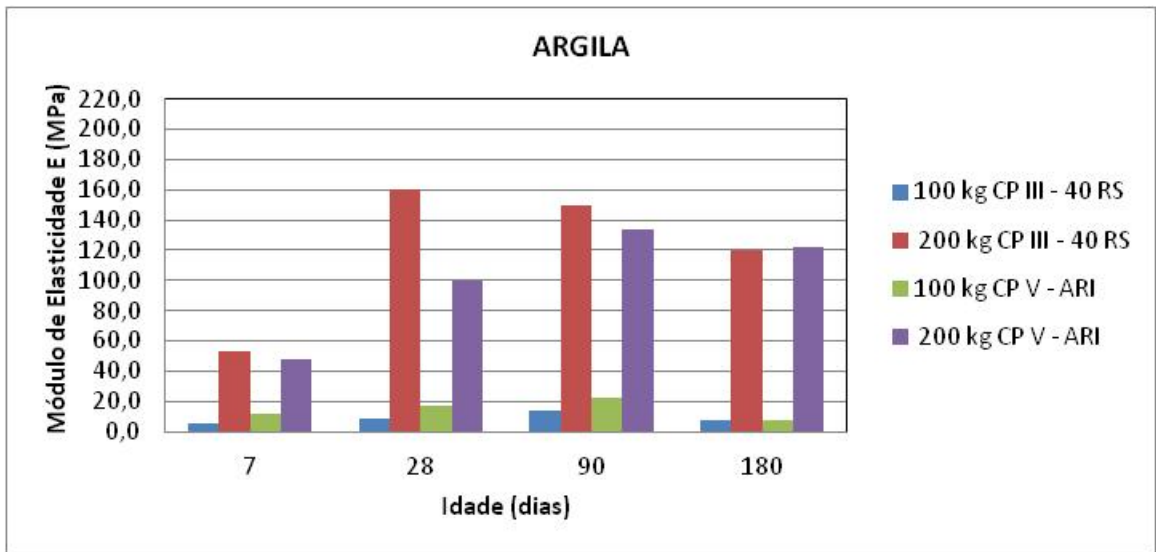


Gráfico 6. 49 – Idade X Módulo de Elasticidade – Misturas argila com cimento

Tabela 6. 4 – Resultados dos Módulos de Elasticidade (E) nas misturas com argila + 15% de turfa

| Dosagem | Idade (dias) | Tensão axial (kPa) | Deformação axial (%) | E (MPa) |
|--|---------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|
| Argila + 15% Turfa + 100 kg CP III - 40 RS | 7 | 5,0 | 0,003 | 2,0 |
| | 28 | 40,0 | 0,012 | 3,3 |
| | 90 | 30,0 | 0,008 | 4,0 |
| | 180 | 20,0 | 0,005 | 4,0 |
| Argila + 15% Turfa + 200 kg CP III - 40 RS | 7 | 300,0 | 0,005 | 60,0 |
| | 28 | 350,0 | 0,008 | 43,8 |
| | 90 | 900,0 | 0,006 | 150,0 |
| | 180 | 700,0 | 0,007 | 100,0 |
| Argila + 15% Turfa + 100 kg CP V - ARI | 7 | 8,0 | 0,012 | 0,7 |
| | 28 | 130,0 | 0,025 | 5,2 |
| | 90 | 110,0 | 0,010 | 11,0 |
| | 180 | 130,0 | 0,010 | 13,0 |
| Argila + 15% Turfa + 200 kg CP V - ARI | 7 | 550,0 | 0,010 | 55,0 |
| | 28 | 950,0 | 0,012 | 79,2 |
| | 90 | 1.000,0 | 0,005 | 200,0 |
| | 180 | 1.200,0 | 0,007 | 171,4 |

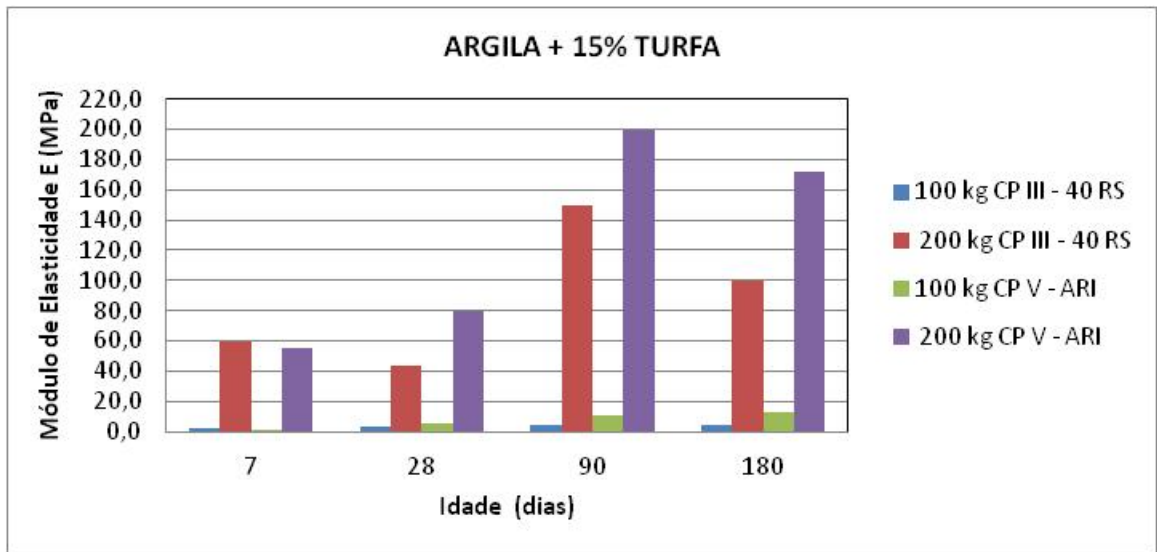


Gráfico 6. 50 – Idade X Módulo de Elasticidade – Misturas Argila + 15% de turfa com cimento

Tabela 6. 5 – Resultados dos Módulos de Elasticidade (E) nas misturas com argila + 30% de turfa

| Dosagem | Idade (dias) | Tensão axial (kPa) | Deformação axial (%) | E (MPa) |
|--|---------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|
| Argila + 30% Turfa + 100 kg CP III - 40 RS | 7 | 3,0 | 0,005 | 0,6 |
| | 28 | 4,0 | 0,005 | 0,8 |
| | 90 | 5,0 | 0,002 | 2,3 |
| | 180 | 6,0 | 0,002 | 3,0 |
| Argila + 30% Turfa + 200 kg CP III - 40 RS | 7 | 40,0 | 0,005 | 8,0 |
| | 28 | 225,0 | 0,005 | 45,0 |
| | 90 | 400,0 | 0,010 | 40,0 |
| | 180 | 280,0 | 0,010 | 28,0 |
| Argila + 30% Turfa + 100 kg CP V - ARI | 7 | 100,0 | 0,010 | 10,0 |
| | 28 | 90,0 | 0,010 | 9,0 |
| | 90 | 40,0 | 0,005 | 8,0 |
| | 180 | 50,0 | 0,007 | 7,1 |
| Argila + 30% Turfa + 200 kg CP V - ARI | 7 | 550,0 | 0,009 | 61,1 |
| | 28 | 800,0 | 0,007 | 114,3 |
| | 90 | 1.100,0 | 0,008 | 137,5 |
| | 180 | 1.000,0 | 0,006 | 166,7 |

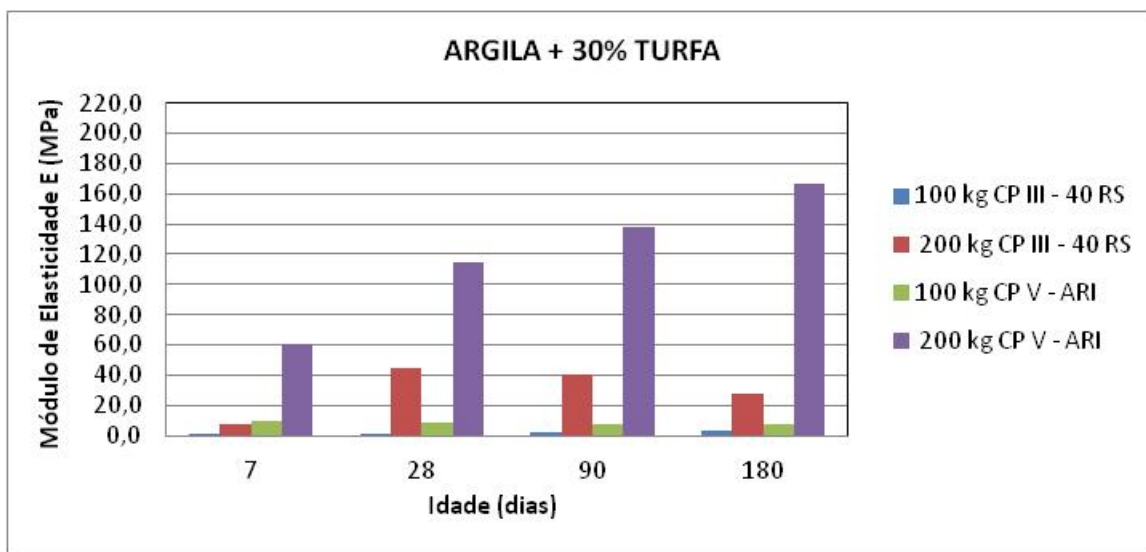


Gráfico 6. 51 – Idade X Módulo de Elasticidade – Misturas Argila + 30% de turfa com cimento

Os resultados de módulo de elasticidade apresentados possuem valores diferenciados crescentes e aos 180 dias decrescem, isso se deve a heterogeneidade do material, ou seja, a composição variada do solo ainda mais acrescida com o cimento. Assim, como é a heterogeneidade do solo é a variação do valor do módulo também. Acredita-se que o decréscimo dos valores esteja ligado à transformação de um material rígido inicialmente e passando para plástico com a idade.

6.5 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA – COMPARAÇÃO ENTRE DOSAGENS

Conforme apresentado neste mesmo capítulo, no item 6.3 – Ensaio de resistência à compressão não confinada, em certas misturas, houve uma diferença muito grande em relação à resistência à compressão não confinada máxima alcançada, dependendo do tipo e da dosagem de cimento utilizado.

Os gráficos 6.52 a 6.56 apresentam comparação dos resultados obtidos através dos ensaios de resistência à compressão não confinada.

O gráfico 6.52 apresenta os resultados da mistura de argila com dosagem de 100 kg de cimento por m³ de solo, tanto para CP III 40 RS, quanto para o CP V ARI. Estes resultados mostram que a diferença entre os tipos de cimento neste caso não interfere significativamente no desempenho final da mistura, porém também não apresenta resultados de ganhos na resistência à compressão não confinada, provando que, para a dosagem de 100 kg, é indiferente o tipo de cimento.

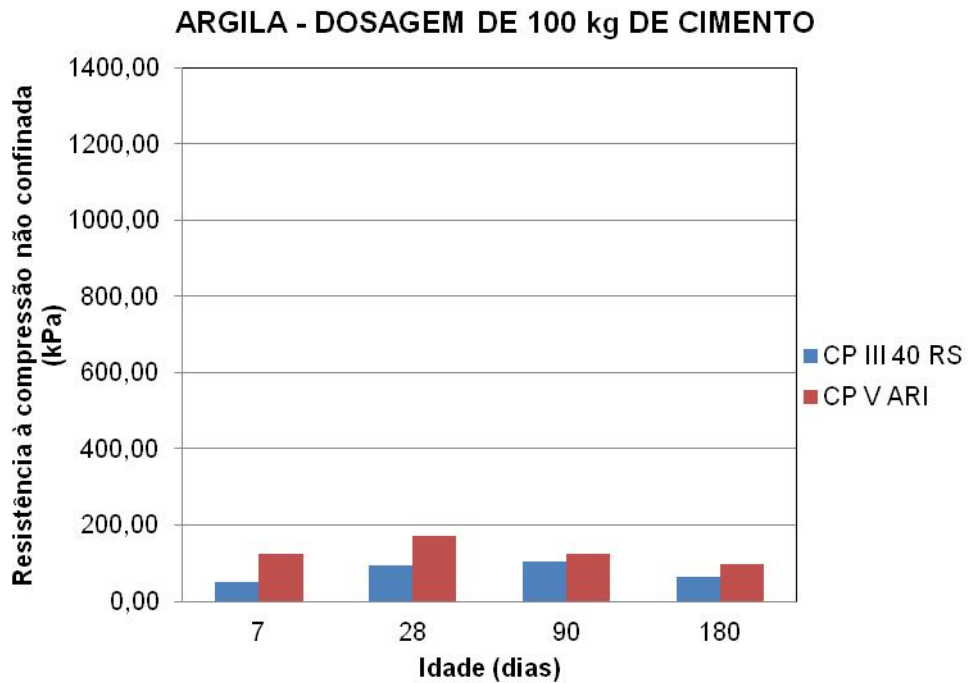


Gráfico 6. 52 – Idade X Tensão para corpo-de-prova - Argila com dosagem de cimento 100 kg/m³

O gráfico 6.53 apresenta os resultados da mistura de argila + 15% de turfa com dosagem de 100 kg de cimento por m³ de solo, tanto para CP III 40 RS quanto para o CP V ARI. Para estes resultados, apesar de não obterem grandes ganhos de resistência à compressão não confinada, há uma diferença significativa entre CP III – 40 RS e CP V ARI, isto porque a este solo foi adicionado uma quantidade de turfa, ou seja, há um acréscimo no teor de matéria orgânica onde o cimento CP V ARI é menos afetado.

O gráfico 6.54 apresenta os resultados da mistura de argila + 30% de turfa com dosagem de 100 kg de cimento por m³ de solo, tanto para CP III – 40 RS, quanto para o CP V ARI. Assim como os resultados encontrados na mistura de argila + 15% de turfa, o fato do melhor resultado apresentado ter sido o do cimento CP V ARI se deve à melhor reação com a matéria orgânica. Porém, devido à dosagem insuficiente, também não houve ganhos significativos de resistência à compressão não confinada.

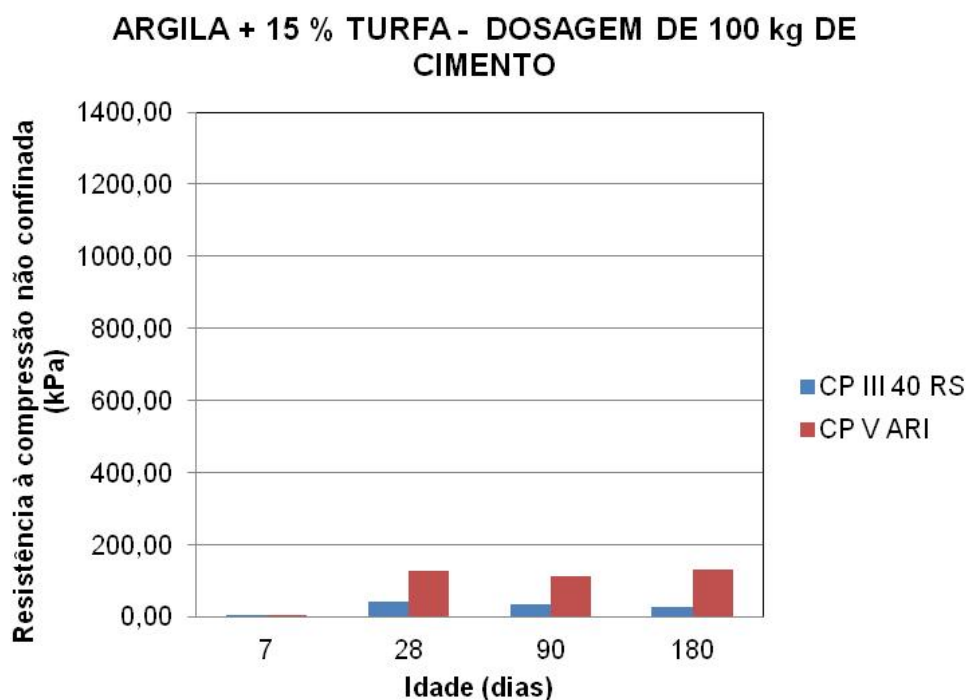


Gráfico 6. 53 – Idade X Tensão para corpo-de-prova Argila + 15 % de Turfa com dosagem de cimento 100 kg/m³

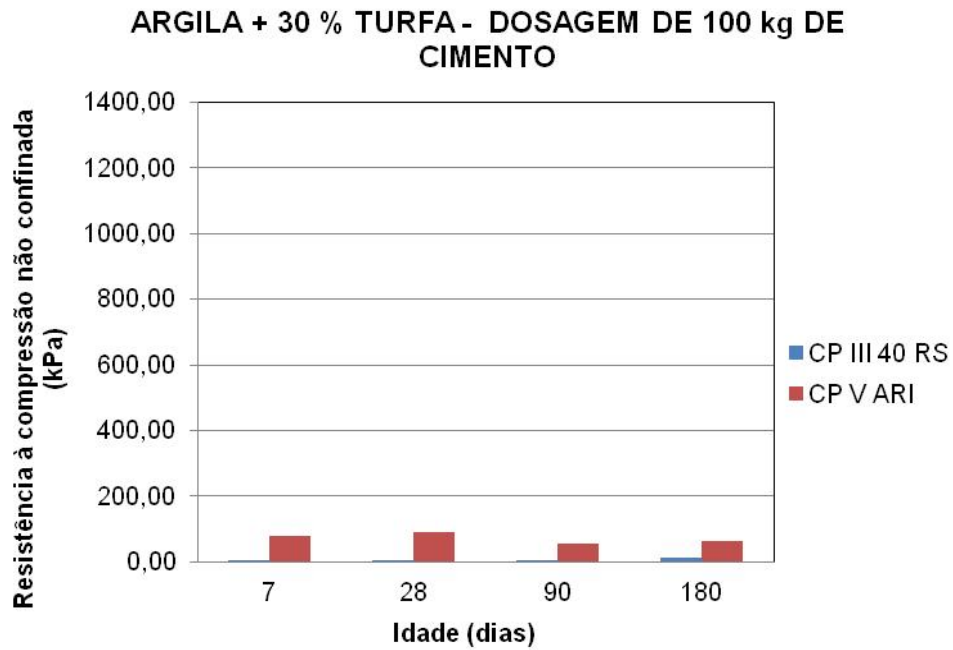
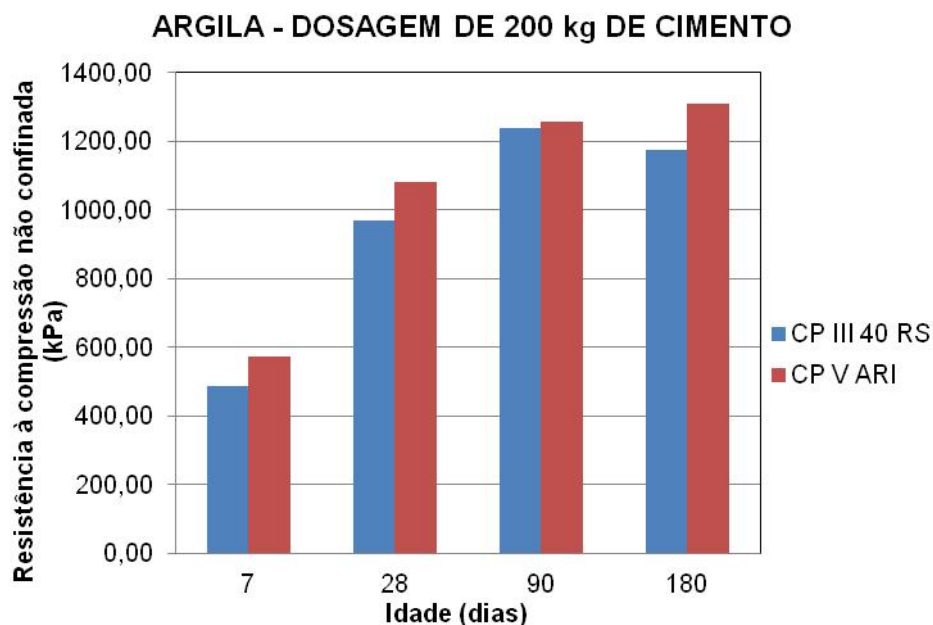


Gráfico 6. 54 – Idade X Tensão para corpo-de-prova Argila + 30 % de Turfa com dosagem de cimento 100 kg/m³

O gráfico 6.55 apresenta os resultados da mistura de argila com dosagem de 200 kg de cimento por m³ de solo, tanto para CP III 40 RS quanto para o CP V ARI. Assim como os resultados na mesma mistura, porém com dosagem de 100 kg, os valores de resistência à compressão não confinada não foram muito diferentes entre tipos de cimento, porém o ganho foi melhor nesta dosagem do que na de 100 kg.



**Gráfico 6. 55 – Idade X Tensão para corpo-de-prova
Argila com dosagem de cimento 200 kg/m³**

O gráfico 6.56 apresenta os resultados da mistura de argila + 15% de turfa com dosagem de 200 kg de cimento por m³ de solo, tanto para CP III 40 RS quanto para o CP V ARI. Para estes resultados, a diferença entre ganhos de resistência é mais bem observada nas idades de 28 e 180 dias. Porém, os resultados entre os dois tipos de cimento são significantes, isso devido à dosagem de cimento, que é suficiente para reação com o solo com teor de matéria orgânica.

O gráfico 6.57 apresenta os resultados da mistura de argila + 30% de turfa com dosagem de 200 kg de cimento por m³ de solo, tanto para CP III 40 RS quanto para o CP V ARI. Para esta mistura, além de uma dosagem maior de cimento, o tipo de cimento também é fundamental. Observa-se que para a mistura utilizando o cimento CP V ARI, o ganho de resistência à compressão não confinada é muito significativo, tornando-se essencial na escolha devido à sua pureza, que consegue reagir com um teor mais elevado de matéria orgânica.

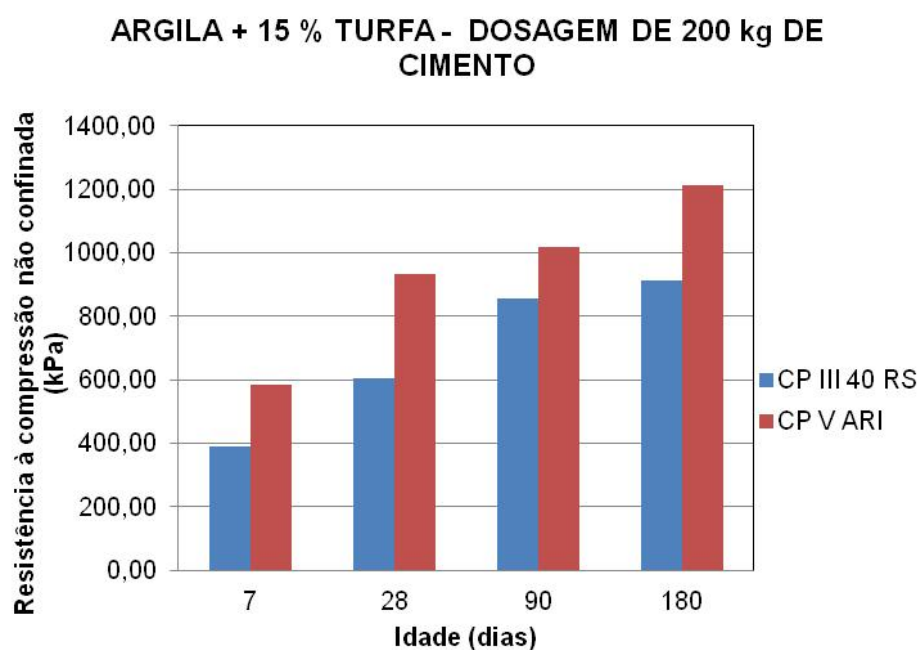


Gráfico 6. 56 – Idade X Tensão para corpo-de-prova Argila + 15 % de Turfa com dosagem de cimento 200 kg/m³

ARGILA + 30 % TURFA - DOSAGEM DE 200 kg DE CIMENTO

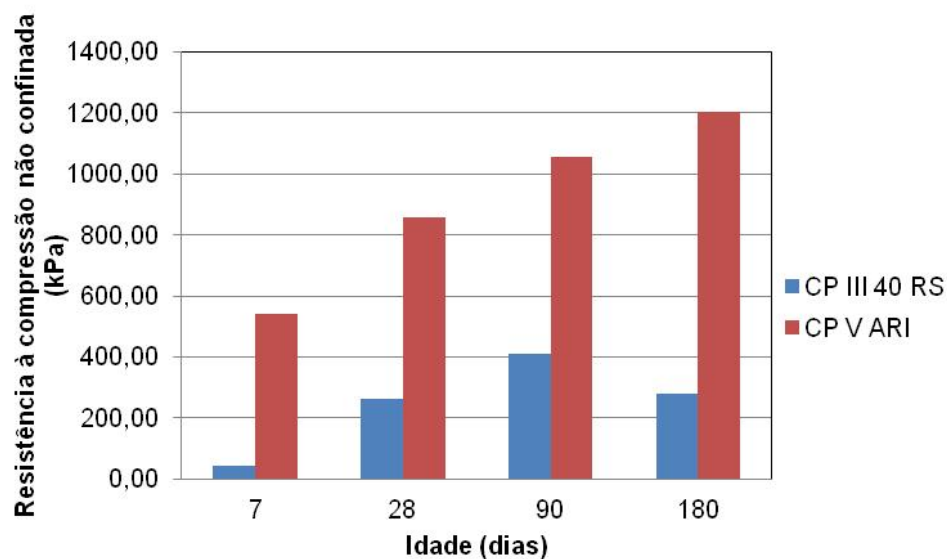


Gráfico 6. 57 – Idade X Tensão para corpo-de-prova Argila + 30 % de Turfa com dosagem de cimento 200 kg/m³

Para analisar melhor os resultados, foram comparados os resultados de resistência à compressão não confinada dos diferentes ensaios realizados em laboratório com a mesma dosagem de cimento, 200 kg/ m³, porém, com dois tipos diferentes de cimento: CP III – 40 RS e CPV – ARI.

Tabela 6. 6– Comparação entre resultados de resistência à compressão não confinada das misturas

| Idade (dias) | 7 | 28 | 90 | 180 |
|---|----------|-----------|-----------|------------|
| Resistência (kPa) CP V – ARI | 486 | 968 | 1.239 | 1.175 |
| Resistência (kPa) CP III – 40 RS | 571 | 1.080 | 1.255 | 1.308 |

Pode-se observar, por meio da Tabela 6.6, que os resultados com cimento CP III – 40 RS são inferiores aos obtidos no CP V – ARI devido à elevada quantidade de escória encontrada no cimento, e, portanto, na mistura.

Nos trabalhos realizados por Axelsson, Johansson e Anderson (2002) e Hebib (2003), comparações como as deste estudo também foram apresentadas. Em Axelsson, Johansson e Anderson (2002), foram apresentadas relações entre diversos tipos de aglomerantes e misturas entre eles, sendo comprovado que o melhor aglomerante é o cimento, com baixa dosagem de escória. Já Hebib e Farrel (2003) fizeram uma comparação entre dosagens de cimento, na qual puderam observar diferenças significativas ao se acrescentar menores quantidades a cada dosagem. Ou seja, de 50 kg para 100 kg de cimento por metro cúbico de solo, por exemplo, o ganho de resistência à compressão não confinada foi visivelmente maior.

6.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade estatística. A Tabela 4.7 apresenta os grupos e fatores analisados.

Tabela 6. 7 – Grupos e fatores analisados

| Fator | Grupos | | | |
|--------------|---------------|------------|---------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Cimento | CPIII – 40 RS | CP V – ARI | --- | --- |
| Dosagem | 100 kg | 200 kg | --- | --- |
| Turfa | 0% | 15% | 30% | --- |
| Idade | 7 dias | 28 dias | 90 dias | 180 dias |

Uma breve análise dos resultados encontra-se neste capítulo, porém as tabelas da análise completa encontram-se no Apêndice 1.

6.7 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA X CIMENTO

Confrontando resultados de resistência à compressão não confinada dos dois diferentes grupos de cimentos: grupo 1, cimento CPIII – 40 RS; e grupo 2, cimento CPV – ARI.

Os resultados apresentam diferença entre os dois grupos de cimento ao nível de 95% de probabilidade estatística, que se podem considerar os resultados de resistência à compressão não confinada obtidos no grupo do cimento 1 inferiores aos obtidos no grupo do cimento 2. Portanto, em relação a cimento x resistência à compressão não confinada, os resultados do grupo 2 são superiores.

6.8 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA X TURFA

Resultados de resistência à compressão não confinada comparados entre os 3 diferentes grupos de turfa: turfa 1, 0% de turfa, ou seja, representa os ensaios somente com argila; turfa 2, que representa os ensaios utilizando argila acrescida de 15% de turfa; e turfa 3, que representa os ensaios utilizando argila acrescida de 30% de turfa .

A coluna Significativa representa significância dos resultados, ou seja, onde apresenta o asterisco houve diferença ao nível de 95% de probabilidade estatística entre os 3 grupos de turfa. Mediante confronto entre os fatores resistência à compressão não confinada x turfa, observou-se que os resultados encontrados nos ensaios argila + 30% de turfa foram inferiores aos encontrados nos ensaios de argila + 15% de turfa que, por sua vez, foram inferiores que os encontrados nos ensaios argila.

6.9 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA X DOSAGEM

Confrontando resultados de resistência à compressão não confinada entre as 2 diferentes dosagens de cimento: dosagem 1 – 100 kg de cimento por m³ de solo; e dosagem 2 – 200 kg de cimento por m³ de solo.

O asterisco da coluna Significativa representa que houve uma diferença ao nível de 95% de probabilidade estatística entre a relação dosagem 1 e dosagem 2. A análise mostrou que os resultados encontrados para a dosagem 1 foram inferiores aos encontrados na dosagem 2.

6.10 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NÃO CONFINADA X DOSAGEM

A análise entre os resultados de resistência à compressão não confinada entre as 4 diferentes idades de cura: idade 1 – 7 dias; idade 2 – 28 dias; idade 3 – 90 dias; e idade 4 – 180 dias.

Nos resultados encontrados para resistência à compressão não confinada x idade, apenas na relação 3 – 4 não se obtiveram diferença estatisticamente significativa, no entanto, para as demais sim, ou seja, o resultado final entre grupos mostrou que a idade 1 é inferior a idade 2, que por sua vez é inferior à idade 3, que se mostrou igual à idade 4.

Como os cimentos apresentaram diferença estatisticamente significativa ao nível de 95% de probabilidade, efetuou-se a análise dentro de cada categoria, ou seja, dentro do grupo 1, cimento CPIII – 40 RS, e do grupo 2, cimento CPV – ARI.

Os resultados obtidos por meio destas novas análises foram similares aos resultados encontrados anteriormente. Foi obtida diferença significativa estatisticamente entre dosagem x idade, que não encontrou diferença ao nível de 95% de probabilidade estatística.

6.11 ENSAIO DE ULTRASSOM

Os ensaios foram realizados durante 28 dias, com leituras diárias, do tempo que a onda levava para percorrer o corpo-de-prova por inteiro. As Tabelas 7.8 a 7.10 apresentam os resultados nas idades de 7, 14 e 28 dias.

Tabela 6. 8 – Resultados dos ensaios de ultrassom nas misturas com argila

| ARGILA | idade (dias) | Leitura μ s | | Media entre leituras (μ s) | Altura do corpo-de-prova (mm) | Velocidade (m/s) |
|------------------------|--------------|-----------------|-------|---------------------------------|-------------------------------|------------------|
| | | 1 | 2 | | | |
| 100 kg CP III 40 RS | inicial | - | - | - | 100 | - |
| | 7 | 65,1 | 63,2 | 64,2 | 100 | 1,56 |
| | 14 | 64,5 | 64,7 | 64,6 | 100 | 1,55 |
| | 28 | 64,7 | 64,6 | 64,7 | 100 | 1,55 |
| 200 kg CP III 40 RS | inicial | 117,8 | 93,1 | 105,5 | 100 | 0,95 |
| | 7 | 92,1 | 91,0 | 91,6 | 100 | 1,09 |
| | 14 | 91,8 | 89,9 | 90,9 | 100 | 1,10 |
| | 28 | 88,0 | 74,9 | 81,5 | 100 | 1,23 |
| 100 kg CP V- ARI | inicial | 247,5 | 189,3 | 218,4 | 100 | 0,46 |
| | 7 | 81,6 | 84,5 | 83,1 | 100 | 1,20 |
| | 14 | 86,0 | 84,6 | 85,3 | 100 | 1,17 |
| | 28 | 85,6 | 85,6 | 85,6 | 100 | 1,17 |
| 200 kg CP V- ARI | inicial | 75,7 | 75,4 | 75,6 | 100 | 1,32 |
| | 7 | 73,7 | 75,6 | 74,7 | 100 | 1,34 |
| | 14 | 72,6 | 76,2 | 74,4 | 100 | 1,34 |
| | 28 | 71,3 | 73,0 | 72,2 | 100 | 1,39 |

Tabela 6. 9 – Resultados dos ensaios de ultrassom nas misturas com argila + 15% de turfa

| ARGILA + 15% TURFA | idade (dias) | Leitura μ s | | Media entre leituras (μ s) | Altura do corpo-de- prova (mm) | Velocidade (m/s) |
|------------------------|-----------------|-----------------|-------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| | | 1 | 2 | | | |
| 100 kg CP III 40 RS | inicial | - | - | - | 10 | - |
| | 7 | 57,7 | 60,4 | 59,1 | 10 | 1,69 |
| | 14 | 65,3 | 64,1 | 64,7 | 10 | 1,55 |
| | 28 | 65,2 | 64,3 | 64,8 | 10 | 1,54 |
| 200 kg CP III 40 RS | inicial | 124,8 | 122,4 | 123,6 | 10 | 0,81 |
| | 7 | 91,0 | 94,0 | 92,5 | 10 | 1,08 |
| | 14 | 72,3 | 90,2 | 81,3 | 10 | 1,23 |
| | 28 | 92,8 | 76,2 | 84,5 | 10 | 1,18 |
| 100 kg CP V ARI | inicial | 144,1 | 136,1 | 140,1 | 10 | 0,71 |
| | 7 | 96,1 | 96,9 | 96,5 | 10 | 1,04 |
| | 14 | 98,4 | 97,5 | 98,0 | 10 | 1,02 |
| | 28 | 95,3 | 96,7 | 96,0 | 10 | 1,04 |
| 200 kg CP V ARI | inicial | 74,3 | 101,5 | 87,9 | 10 | 1,14 |
| | 7 | 79,0 | 80,6 | 79,8 | 10 | 1,25 |
| | 14 | 76,1 | 80,6 | 78,4 | 10 | 1,28 |
| | 28 | 73,5 | 79,5 | 76,5 | 10 | 1,31 |

Tabela 6. 10 – Resultados dos ensaios de ultrassom nas misturas com argila + 30% de turfa

| ARGILA + 30% TURFA | idade (dias) | Leitura μs | | Media entre leituras (μs) | Altura do corpo-de- prova (mm) | Velocidade (m/s) |
|------------------------|-----------------|-----------------------|-------|---|--------------------------------------|---------------------|
| | | 1 | 2 | | | |
| 100 kg CP III 40 RS | inicial | - | - | - | 10 | - |
| | 7 | 60,5 | 59,3 | 59,9 | 10 | 1,67 |
| | 14 | 65,9 | 64,6 | 65,3 | 10 | 1,53 |
| | 28 | 65,2 | 64,3 | 64,8 | 10 | 1,54 |
| 200 kg CP III 40 RS | inicial | 124,3 | 116,9 | 120,6 | 10 | 0,83 |
| | 7 | 91,4 | 96,6 | 94,0 | 10 | 1,06 |
| | 14 | 87,4 | 94,0 | 90,7 | 10 | 1,10 |
| | 28 | 87,5 | 91,2 | 89,4 | 10 | 1,12 |
| 100 kg CP V ARI | inicial | 160,3 | 175,6 | 168,0 | 10 | 0,60 |
| | 7 | 100,9 | 102,1 | 101,5 | 10 | 0,99 |
| | 14 | 103,4 | 80,0 | 91,7 | 10 | 1,09 |
| | 28 | 104,8 | 87,2 | 96,0 | 10 | 1,04 |
| 200 kg CP V ARI | inicial | 83,2 | 84,9 | 84,1 | 10 | 1,19 |
| | 7 | 85,0 | 89,8 | 87,4 | 10 | 1,14 |
| | 14 | 86,6 | 88,5 | 87,6 | 10 | 1,14 |
| | 28 | 83,9 | 85,4 | 84,7 | 10 | 1,18 |

Após o cálculo da velocidade de propagação de cada ensaio, pode-se relacionar a resistência à compressão não confinada com a velocidade de propagação da onda ultrassônica, mediante gráficos. Foram desconsiderados os resultados das misturas de 100 kg de cimento, pois os resultados encontrados não foram significativos para este ensaio.

Observando o gráfico 6.58, nota-se a tendência de crescimento da velocidade de propagação da onda com a diminuição da resistência à compressão não confinada.

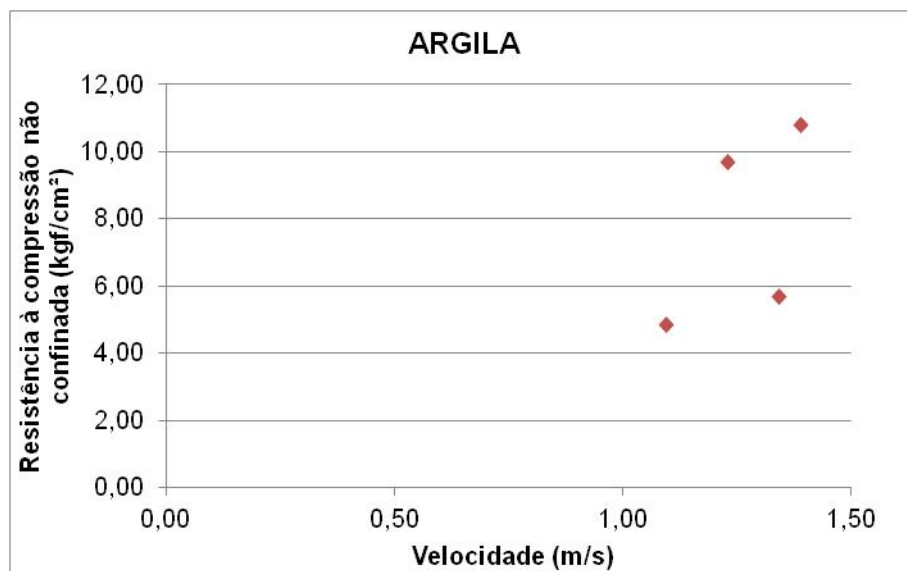


Gráfico 6. 58 – Relação entre resistência à compressão e velocidade de propagação da onda ultrassônica na mistura argila + 200 kg de cimento

Apresenta-se no gráfico 6.59, a relação entre resistência à compressão não confinada e a velocidade de propagação da onda ultrassônica na mistura argila.

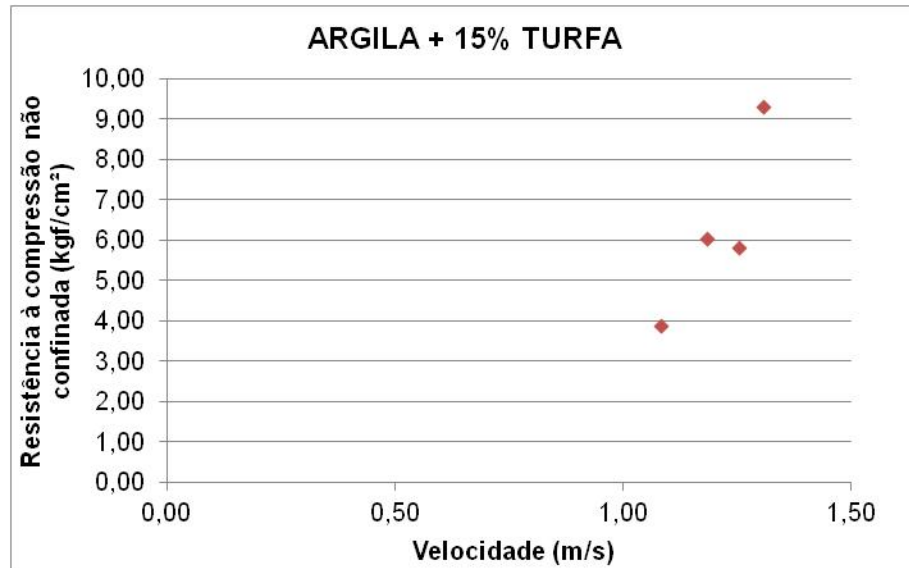


Gráfico 6. 59 – Relação entre resistência à compressão e velocidade de propagação da onda ultrassônica na mistura argila + 15% turfa + 200 kg de cimento

O gráfico 6.60 apresenta relação entre resistência à compressão não confinada e a velocidade de propagação da onda ultrassônica na mistura argila, que foi similar às mesmas relações obtidas nos ensaios para as misturas de argila com cimento, e argila + 15% turfa com cimento. Ou seja, quanto maior a velocidade de propagação da onda, menor a resistência à compressão não confinada.

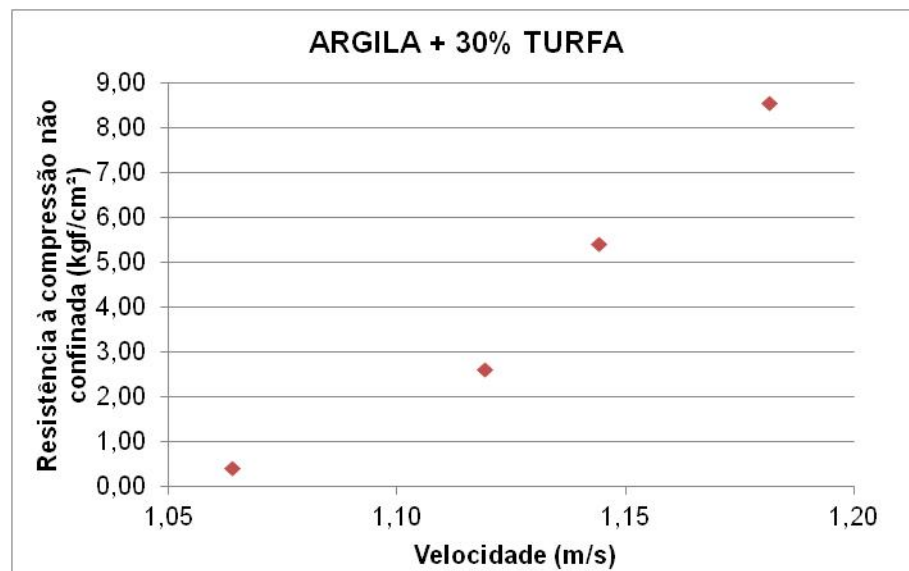


Gráfico 6. 60 – Relação entre resistência à compressão e velocidade de propagação da onda ultrassônica na mistura argila + 30% turfa + 200 kg de cimento

Um dos fatores que depende da velocidade da onda é o módulo de elasticidade. Pode-se observar que o resultado do módulo sendo decrescente, a velocidade de propagação também o é, isto é observado nos gráficos 6.58 à 6.60.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nestes estudos, observaram-se a melhor dosagem e o melhor tipo de cimento, para as misturas de solos moles e cimento, contribuindo para a avaliação do desempenho da técnica de tratamento de solos moles por meio do sistema de estabilização Dry-Mix.

Por meio de comparação com os resultados dos ensaios de resistência à compressão não confinada, obtidos com os diferentes tipos e dosagens de aglomerante – cimento Portland, pode-se observar que para as amostras das misturas de argila com cimento, o tipo de cimento foi indiferente, porém baixas dosagens não foram aplicáveis ao tratamento. Já para as amostras com teores elevados de matéria orgânica, como foi o caso da mistura de argila + 30% turfa com cimento, com o cimento CP V – ARI, obtiveram-se melhores resultados, devido à pureza do cimento, ou seja, teor de clínquer mais elevado. Para as amostras de mistura de argila + 15% turfa, a variável importante esteve ligada somente à dosagem, pois as diferenças de resultados, levando em consideração a matriz cimento, foram muito inexpressivas. Estas comparações puderam ser realizadas avaliando o ganho de resistência à compressão não confinada em cada idade.

Avaliando os resultados de módulo de elasticidade deste solo, após o tratamento, estes apresentaram valores crescentes até a idade de 28 dias. Após esta idade, os valores sofreram diminuição, indicando perda de rigidez.

Nos ensaios de ultrassom, foram observados resultados significativos somente para os corpos-de-prova com a dosagem de 200 kg de cimento por m³ de solo.

A análise estatística indicou também como sendo o melhor cimento para este tipo de tratamento o CP V – ARI e como melhor dosagem a de 200 kg de cimento por m³ de solo, apresentando os melhores resultados em todas as comparações.

No geral, observou-se que a melhor dosagem de cimento foi a de 200 kg por metro cúbico de solo, e que, se considerado o solo com elevados teores de matéria orgânica, o melhor cimento para aplicação do sistema de estabilização Dry-Mix foi o cimento CP V – ARI.

Sugestões para Prosseguimento da Pesquisa

Desenvolver um método de ensaio normatizado. Atualmente, uma variedade de métodos de ensaio encontra-se em uso, resultando em grandes variações e dificuldades de comparar os resultados.

Desenvolver métodos e critérios para avaliar os efeitos dos novos estabilizadores.

Estudar em detalhe os parâmetros físicos e químicos que afetam as reações e aumentam a resistência à compressão não confinada.

REFERÊNCIAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. Boletim Técnico 106. Publicações ABCP. São Paulo. 2002. 14 p.

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Solo-cimento: norma de dosagem e métodos de ensaio**. Publicações ABCP. São Paulo. 1960. 20 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Cimento Portland de Alta Resistência Inicial**. NBR 5733. Rio de Janeiro. 1991.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Cimento Portland de Alto Forno**. NBR 5735. Rio de Janeiro. 1991.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Grãos de Solos que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da Massa específica**. NBR 6508. Rio de Janeiro. 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo – **Amostra de solos – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. NBR 6457. Rio de Janeiro. 1986.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo – **Análise Granulométrica**. NBR 7181. Rio de Janeiro. 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo Coesivo – **Determinação da resistência à compressão não confinada – Método de Ensaio**. NBR 12770. Rio de Janeiro. 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo – **Determinação de massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação – Método de Ensaio**. NBR 9813. Rio de Janeiro. 1987.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo – Determinação do limite de liquidez.** NBR 6459. Rio de Janeiro. 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo – Determinação do limite de plasticidade.** NBR 7180. Rio de Janeiro. 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica - Método de ensaio.** NBR 8802 Rio de Janeiro. 1994.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo e Rochas.** NBR 6502. Rio de Janeiro. 1995.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio.** NBR 6484. Rio de Janeiro. 2001.

ADASKA, W.S. Soil cement – **A material with many applications.** Concrete International, January. 1991. pp. 49-52.

ÅHNBERG, H. Strength of Stabilised Soil - **A laboratory study on clays and organic soils stabilised with different types of binder.** – Report 72 - LINKÖPING 2006 – 57 p.

ANDRADE, G.G. Palestra: Dry-Mix – **Uma solução para estabilização de solos moles saturados.** GEONE – 1º Simpósio de Geotecnia do Nordeste. Recife – PE. 2010.

AXELSSON, K.; JOHANSSON, S. E.; ANDERSSON, R.; **Stabilization of Organic Soils by Cement and Puzzolanic Reactions – Feasibility Study.** Svensk Djupstabilisering – Swedish Deep Stabilization Research Centre. Report 3. 2002. 51 p.

BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção.** v. 1. 5ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro. 447 p. 2000.

BREDENBERG, H., HOLM, G., BRONS, B. B. **Dry-Mix Methods for Deep Soil Stabilization: proceedings of the International Conference on Dry-Mix Methods for Deep Soil Stabilization.** Stockholm. Sweden. 13-15 October 1999. 361 p.

CERATTI, J. A. P., CASANOVA, F. J. **Um método físico químico para dosagem de solo-cimento.** In **Simpósio sobre novos conceitos em ensaios de campo e laboratório em geotecnia.** 1988. RJ. Anais ... RJ: COPPE; ABMS; ABGE, v. 1. 1988. pp. 191-200

CROFT, J. B. **The influence of soil mineralogical composition on cement stabilization.** Geotechnique, London, v. 17. 1967. pp. 119-135.

EADES, J. L.; Grim, R. E. (1966) **A quick test to determine lime requirements for lime stabilization.** Highway Research Board, Washington, D. C.; n.139, p.61-72.

ENAMORADO, M. A. **Estudo Comparativo Entre o Método Mecânico e o Método Físico-químico para Dosagem do Solo-cimento.** Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRJ. Rio de Janeiro. 1990.123 p.

EUROSOILSTAB. **Development of design and construction methods to stabilize soft organic soils. Design guide soft soil stabilization.** CP 97-0351. Project N° BE 96-3177. European Commission. Industrial & Materials Technologies Programme (Brite-EU-Ram III). Brussels. 2002.

GOMES, F. P., 1973. Curso de estatística experimental. Piracicaba, Nobel, 430 PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** 2ª edição. São Paulo. Ed. Oficina de Textos. 2002. 355 p.

HACHICH, **Waldemar et al. Fundações: teoria e prática.** 2º edição, São Paulo: Pini ABMS/ABEF, 1998. 751p.

HANDY, R. L. **Cementation of soil minerals with Portland cement or alkalis.** Highway Research Record. Washington, v. 36. 1958. pp. 55-64.

HASHIM, S. I. R. **Bearing Capacity of Stabilised Tropical Peat by Deep Mixing Method.** Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2009. pp. 682-688.
HEBIB, S. and FARREL E. R.. **Some experiences on the stabilisation of Irish peats.** Can. Geotech. J. 40. 2003. pp. 107-102.

HERZOG, A. and MITCHELL, J. K. **Reactions accompanying stabilizations of clay with cement.** Highway Research Record. Washington. v. 36. 1963. pp. 146-171.

INGLES, O. G. and Metcalf, J. B. **Soil stabilization: principles and practice. Melbourne: Butterworths Pty.** 1972. 372 p.

JELISIC, N. **Mass Stabilization: stability and settlement in Mass Stabilized Peat.** Doctoral Thesis Lund Institute of Technology – Lund University. Sweden. 2004. 229 p.

JONES, R. **The Ultrasonic Testing of Concrete.** Proc. Highway Research Board, 32. 1953.

KÉZDI, A. **Stabilized Earth Road.** Amsterdam: Elsevier Scientific Publish. 1979.

MASSAD, F. **Obras de Terra: curso básico de geotecnia.** Ed. Oficina de Textos. São Paulo. 2003. 184 p.

MOH, Z. C. **Reactions of Soil Minerals With Cement and Chemicals.** Highway Research Record. Washington. V. 86. 1965. pp. 39-61.

NOBLE, D. F. **Reactions and strength development in Portland cement-clay mixtures.** Highway Research Record. Washington. v. 198. 1967. pp. 39-56.

NUÑEZ, W. P. **Estabilização físico-química de um solo residual de arenito Botucatu visando seu emprego na pavimentação.** Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. Porto Alegre. 1991. 145 p.

PITTA, M. R. **Dimensionamento de pavimentos com camadas estabilizadas com cimento**. São Paulo. ABCP. 1985. 84 p.

SALES, L. F. P. **Estudo do comportamento de fundações superficiais assentes em solos tratados**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. Porto Alegre. 1998. 129 p.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. Ed. Edgard Blücher. São Paulo. 2003. 416 p.

THOMÉ, A. **Estudo do comportamento de um solo mole tratado com cal, visando seu uso em fundações superficiais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). CPGEC-UFRGS. Porto Alegre. 1994. 149 p.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo. Ed. McGrall-Hill do Brasil. 1977. 509 p.

VENDRUSCOLO, M. A. **Análise numérica e experimental do comportamento de fundações superficiais assentes em solo melhorado**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. Porto Alegre. 1996. 141 p.

APÊNDICE

Apêndice 01

São apresentados neste apêndice, os resultados completos da Análise de Variância (ANOVA), realizadas com o auxílio do software Statsgraphics 5.1 Centurion, a fim de se avaliar o efeito dos fatores: tipo de cimento, dosagem de cimento, tipo de solo e idade dos corpos-de-prova, sob a resistência à compressão não confinada.

As Tabelas que se seguem são os resultados apresentados originalmente pelo software, no idioma inglês.

Analysis of Variance for Tensao - Type III Sums of Squares

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Cimento | 232.948 | 1 | 232.948 | 173.39 | 0.0000 |
| B:Turfa | 250.14 | 2 | 125.07 | 93.09 | 0.0000 |
| C:Dosagem | 3545.33 | 1 | 3545.33 | 2638.92 | 0.0000 |
| D:Idade | 347.864 | 3 | 115.955 | 86.31 | 0.0000 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 128.744 | 2 | 64.3722 | 47.91 | 0.0000 |
| AC | 115.779 | 1 | 115.779 | 86.18 | 0.0000 |
| AD | 12.9777 | 3 | 4.32591 | 3.22 | 0.0234 |
| BC | 133.931 | 2 | 66.9654 | 49.84 | 0.0000 |
| BD | 25.157 | 6 | 4.19283 | 3.12 | 0.0058 |
| CD | 311.574 | 3 | 103.858 | 77.31 | 0.0000 |
| RESIDUAL | 335.87 | 250 | 1.34348 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 5509.38 | 274 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variability of Tensao into contributions due to various factors. Since Type III sums of squares (the default) have been chosen, the contribution of each factor is measured having removed the effects of all other factors. The P-values test the statistical significance of each of the factors. Since 10 P-values are less than 0.05, these factors have a statistically significant effect on Tensao at the 95.0% confidence level.

* Todas a variáveis independentes e suas interações são significativas ao nível de 95% de probabilidade estatística

Multiple Range Tests for Tensao by Cimento

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Cimento</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 134 | 3.38599 | 0.100598 | X |
| 2 | 141 | 5.23197 | 0.0977644 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -1.84598 | 0.276102 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Multiple Range Tests for Tensao by Turfa

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Turfa</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 3 | 96 | 3.13125 | 0.118299 | X |
| 2 | 90 | 4.33243 | 0.122654 | X |
| 1 | 89 | 5.46325 | 0.123548 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | 1.13082 | 0.342715 |
| 1 - 3 | * | 2.332 | 0.336887 |
| 2 - 3 | * | 1.20118 | 0.335618 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Multiple Range Tests for Tensao by Dosagem

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Dosagem</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 134 | 0.702713 | 0.100678 | X |
| 2 | 141 | 7.91524 | 0.0978355 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -7.21253 | 0.276523 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Multiple Range Tests for Tensao by Idade

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Idade</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 69 | 2.46665 | 0.140025 | X |
| 2 | 71 | 4.30016 | 0.137636 | X |
| 3 | 67 | 5.18028 | 0.142412 | X |
| 4 | 68 | 5.28882 | 0.141051 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -1.83352 | 0.386582 |
| 1 - 3 | * | -2.71364 | 0.393233 |
| 1 - 4 | * | -2.82217 | 0.391374 |
| 2 - 3 | * | -0.880118 | 0.390053 |
| 2 - 4 | * | -0.988655 | 0.388076 |
| 3 - 4 | | -0.108537 | 0.394737 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 5 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Como os cimentos apresentaram diferença estatisticamente significativa ao nível de 95% de probabilidade, efetuou-se a análise dentro da categoria.

Cimento 1 - Analysis of Variance for Tensao - Type III Sums of Squares

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Turfa | 341.115 | 2 | 170.558 | 361.42 | 0.0000 |
| B:Dosagem | 1192.15 | 1 | 1192.15 | 2526.19 | 0.0000 |
| C:Idade | 151.992 | 3 | 50.664 | 107.36 | 0.0000 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 244.656 | 2 | 122.328 | 259.22 | 0.0000 |
| AC | 25.1898 | 6 | 4.19831 | 8.90 | 0.0000 |
| BC | 118.871 | 3 | 39.6237 | 83.96 | 0.0000 |
| RESIDUAL | 55.2141 | 117 | 0.471915 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 2166.1 | 134 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variability of Tensao into contributions due to various factors. Since Type III sums of squares (the default) have been chosen, the contribution of each factor is measured having removed the effects of all other factors. The P-values test the statistical significance of each of the factors. Since 6 P-values are less than 0.05, these factors have a statistically significant effect on Tensao at the 95.0% confidence level.

* Todas as variáveis independentes e suas interações são significativas ao nível de 95% de probabilidade estatística

Cimento 1 - Multiple Range Tests for Tensao by Turfa

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Turfa</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 3 | 48 | 1.27813 | 0.0991542 | X |
| 2 | 44 | 3.63543 | 0.104026 | X |
| 1 | 43 | 5.12122 | 0.105639 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | 1.48579 | 0.293476 |
| 1 - 3 | * | 3.84309 | 0.286934 |
| 2 - 3 | * | 2.35731 | 0.284613 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 1 - Multiple Range Tests for Tensao by Dosagem

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Dosagem</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 65 | 0.35354 | 0.0857955 | X |
| 2 | 70 | 6.33631 | 0.0824492 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -5.98277 | 0.23574 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 1 - Multiple Range Tests for Tensao by Idade

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Idade</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 33 | 1.60237 | 0.120603 | X |
| 2 | 35 | 3.35421 | 0.116299 | X |
| 4 | 33 | 4.0002 | 0.120229 | X |
| 3 | 34 | 4.42293 | 0.118159 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -1.75184 | 0.33166 |
| 1 - 3 | * | -2.82057 | 0.334239 |
| 1 - 4 | * | -2.39783 | 0.33709 |
| 2 - 3 | * | -1.06872 | 0.328302 |
| 2 - 4 | * | -0.64599 | 0.331102 |
| 3 - 4 | * | 0.422733 | 0.3339 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 6 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 4 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

CIMENTO 2

Cimento 2 - Analysis of Variance for Tensao - Type III Sums of Squares

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Turfa | 17.7101 | 2 | 8.85506 | 7.47 | 0.0009 |
| B:Dosagem | 2529.93 | 1 | 2529.93 | 2134.76 | 0.0000 |
| C:Idade | 221.701 | 3 | 73.9005 | 62.36 | 0.0000 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 2.54809 | 2 | 1.27404 | 1.08 | 0.3445 |
| AC | 12.1564 | 6 | 2.02606 | 1.71 | 0.1242 |
| BC | 199.184 | 3 | 66.3946 | 56.02 | 0.0000 |
| RESIDUAL | 145.769 | 123 | 1.18511 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 3129.98 | 140 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variability of Tensao into contributions due to various factors. Since Type III sums of squares (the default) have been chosen, the contribution of each factor is measured having removed the effects of all other factors. The P-values test the statistical significance of each of the factors. Since 4 P-values are less than 0.05, these factors have a statistically significant effect on Tensao at the 95.0% confidence level.

* Todas as variáveis independentes são significativas ao nível de 95% de probabilidade estatística; apenas a interação Dosagem x Idade foi significativa

Cimento 2 - Multiple Range Tests for Tensao by Turfa

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Turfa</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 3 | 48 | 4.98438 | 0.15713 | X |
| 2 | 47 | 5.00078 | 0.15899 | X |
| 1 | 46 | 5.75126 | 0.161437 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | 0.750485 | 0.448412 |
| 1 - 3 | * | 0.766886 | 0.445931 |
| 2 - 3 | | 0.0164005 | 0.442474 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 2 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 2 - Multiple Range Tests for Tensao by Dosagem

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Dosagem</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 70 | 0.999451 | 0.130651 | X |
| 2 | 71 | 9.49149 | 0.129311 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -8.49204 | 0.363815 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 2 - Multiple Range Tests for Tensao by Idade

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Idade</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 36 | 3.24528 | 0.181438 | X |
| 2 | 36 | 5.22083 | 0.181438 | X |
| 3 | 34 | 5.94335 | 0.188039 | X |
| 4 | 35 | 6.57242 | 0.184296 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -1.97556 | 0.50791 |
| 1 - 3 | * | -2.69807 | 0.517232 |
| 1 - 4 | * | -3.32715 | 0.511926 |
| 2 - 3 | * | -0.722514 | 0.517232 |
| 2 - 4 | * | -1.35159 | 0.511926 |
| 3 - 4 | * | -0.629076 | 0.52103 |

* denotes a statistically significant difference.

Análise separada por interação cimento x turfa

Cimento 1 e Turfa 1 - Analysis of Variance for Tensao - Type III Sums of Squares

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Dosagem | 817.406 | 1 | 817.406 | 1254.82 | 0.0000 |
| B:Idade | 90.2915 | 3 | 30.0972 | 46.20 | 0.0000 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 75.0161 | 3 | 25.0054 | 38.39 | 0.0000 |
| RESIDUAL | 22.7995 | 35 | 0.651414 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 1039.98 | 42 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variability of Tensao into contributions due to various factors. Since Type III sums of squares (the default) have been chosen, the contribution of each factor is measured having removed the effects of all other factors. The P-values test the statistical significance of each of the factors. Since 3 P-values are less than 0.05, these factors have a statistically significant effect on Tensao at the 95.0% confidence level.

* Todas as variáveis independentes e suas interações são significativas ao nível de 95% de probabilidade estatística

Cimento 1 e Turfa 1 - Multiple Range Tests for Tensao by Dosagem

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Dosagem</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 19 | 0.742125 | 0.186028 | X |
| 2 | 24 | 9.54458 | 0.164749 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -8.80246 | 0.504468 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 1 e Turfa 1 - Multiple Range Tests for Tensao by Idade

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Idade</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 10 | 2.67875 | 0.260491 | X |
| 2 | 11 | 5.29 | 0.244362 | X |
| 4 | 11 | 5.95167 | 0.244362 | XX |
| 3 | 11 | 6.653 | 0.244362 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -2.61125 | 0.72509 |
| 1 - 3 | * | -3.97425 | 0.72509 |
| 1 - 4 | * | -3.27292 | 0.72509 |
| 2 - 3 | * | -1.363 | 0.701567 |
| 2 - 4 | | -0.661667 | 0.701567 |
| 3 - 4 | | 0.701333 | 0.701567 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 4 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 1 e Turfa 2 - Analysis of Variance for Tensao - Type III Sums of Squares

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Dosagem | 489.951 | 1 | 489.951 | 1985.49 | 0.0000 |
| B:Idade | 52.5719 | 3 | 17.524 | 71.01 | 0.0000 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 45.8422 | 3 | 15.2807 | 61.92 | 0.0000 |
| RESIDUAL | 8.88356 | 36 | 0.246766 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 579.21 | 43 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variability of Tensao into contributions due to various factors. Since Type III sums of squares (the default) have been chosen, the contribution of each factor is measured having removed the effects of all other factors. The P-values test the statistical significance of each of the factors. Since 3 P-values are less than 0.05, these factors have a statistically significant effect on Tensao at the 95.0% confidence level.

* Todas as variáveis independentes e suas interações são significativas ao nível de 95% de probabilidade estatística

Cimento 1 e Turfa 2 - Multiple Range Tests for Tensao by Dosagem

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Dosagem</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 22 | 0.290583 | 0.106349 | X |
| 2 | 22 | 7.03021 | 0.107551 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -6.73963 | 0.306754 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant diff

Cimento 1 e Turfa 2 - Multiple Range Tests for Tensao by Idade

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Idade</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 11 | 1.98133 | 0.1504 | X |
| 2 | 12 | 3.33167 | 0.143401 | X |
| 3 | 11 | 4.58067 | 0.1504 | X |
| 4 | 10 | 4.74792 | 0.160327 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -1.35033 | 0.421454 |
| 1 - 3 | * | -2.59933 | 0.431372 |
| 1 - 4 | * | -2.76658 | 0.445835 |
| 2 - 3 | * | -1.249 | 0.421454 |
| 2 - 4 | * | -1.41625 | 0.436246 |
| 3 - 4 | | -0.16725 | 0.445835 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 5 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page

Cimento 1 e Turfa 3 - Analysis of Variance for Tensao - Type III Sums of Squares

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Dosagem | 69.6731 | 1 | 69.6731 | 877.99 | 0.0000 |
| B:Idade | 18.6375 | 3 | 6.2125 | 78.29 | 0.0000 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 18.3697 | 3 | 6.12324 | 77.16 | 0.0000 |
| RESIDUAL | 3.17422 | 40 | 0.0793554 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 109.855 | 47 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variability of Tensao into contributions due to various factors. Since Type III sums of squares (the default) have been chosen, the contribution of each factor is measured having removed the effects of all other factors. The P-values test the statistical significance of each of the factors. Since 3 P-values are less than 0.05, these factors have a statistically significant effect on Tensao at the 95.0% confidence level.

* Todas as variáveis independentes e suas interações são significativas ao nível de 95% de probabilidade estatística

Cimento 1 e Turfa 3 - Multiple Range Tests for Tensao by Dosagem

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Dosagem</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 24 | 0.07333 33 | 0.057502 | X |
| 2 | 24 | 2.48292 | 0.057502 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -2.40958 | 0.164354 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 1 e Turfa 3 - Multiple Range Tests for Tensao by Idade

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Idade</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 12 | 0.288333 | 0.0813201 | X |
| 4 | 12 | 1.37833 | 0.0813201 | X |
| 2 | 12 | 1.43333 | 0.0813201 | X |
| 3 | 12 | 2.0125 | 0.0813201 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -1.145 | 0.232432 |
| 1 - 3 | * | -1.72417 | 0.232432 |
| 1 - 4 | * | -1.09 | 0.232432 |
| 2 - 3 | * | -0.579167 | 0.232432 |
| 2 - 4 | | 0.055 | 0.232432 |
| 3 - 4 | * | 0.634167 | 0.232432 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 5 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 2 - Analysis of Variance for Tensao - Type III Sums of Squares

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Turfa | 17.7101 | 2 | 8.85506 | 7.47 | 0.0009 |
| B:Dosagem | 2529.93 | 1 | 2529.93 | 2134.76 | 0.0000 |
| C:Idade | 221.701 | 3 | 73.9005 | 62.36 | 0.0000 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 2.54809 | 2 | 1.27404 | 1.08 | 0.3445 |
| AC | 12.1564 | 6 | 2.02606 | 1.71 | 0.1242 |
| BC | 199.184 | 3 | 66.3946 | 56.02 | 0.0000 |
| RESIDUAL | 145.769 | 123 | 1.18511 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 3129.98 | 140 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variability of Tensao into contributions due to various factors. Since Type III sums of squares (the default) have been chosen, the contribution of each factor is measured having removed the effects of all other factors. The P-values test the statistical significance of each of the factors. Since 4 P-values are less than 0.05, these factors have a statistically significant effect on Tensao at the 95.0% confidence level.

* Todas as variáveis independentes são significativas ao nível de 95% de probabilidade estatística; apenas a interação Dosagem x Idade foi significativa

Cimento 2 - Multiple Range Tests for Tensao by Turfa

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Turfa</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 3 | 48 | 4.98438 | 0.15713 | X |
| 2 | 47 | 5.00078 | 0.15899 | X |
| 1 | 46 | 5.75126 | 0.161437 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | 0.750485 | 0.448412 |
| 1 - 3 | * | 0.766886 | 0.445931 |
| 2 - 3 | | 0.0164005 | 0.442474 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 2 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 2 - Multiple Range Tests for Tensao by Dosagem

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Dosagem</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 70 | 0.999451 | 0.130651 | X |
| 2 | 71 | 9.49149 | 0.129311 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -8.49204 | 0.363815 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 2 - Multiple Range Tests for Tensao by Idade

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Idade</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 36 | 3.24528 | 0.181438 | X |
| 2 | 36 | 5.22083 | 0.181438 | X |
| 3 | 34 | 5.94335 | 0.188039 | X |
| 4 | 35 | 6.57242 | 0.184296 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -1.97556 | 0.50791 |
| 1 - 3 | * | -2.69807 | 0.517232 |
| 1 - 4 | * | -3.32715 | 0.511926 |
| 2 - 3 | * | -0.722514 | 0.517232 |
| 2 - 4 | * | -1.35159 | 0.511926 |
| 3 - 4 | * | -0.629076 | 0.52103 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 6 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 4 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Análise separada por interação cimento x turfa

Cimento 2 e Turfa 1 - Analysis of Variance for Tensao - Type III Sums of Squares

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:Dosagem | 895.319 | 1 | 895.319 | 503.87 | 0.0000 |
| B:Idade | 81.2509 | 3 | 27.0836 | 15.24 | 0.0000 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 90.2123 | 3 | 30.0708 | 16.92 | 0.0000 |
| RESIDUAL | 67.5215 | 38 | 1.77688 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 1154.33 | 45 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variability of Tensao into contributions due to various factors. Since Type III sums of squares (the default) have been chosen, the contribution of each factor is measured having removed the effects of all other factors. The P-values test the statistical significance of each of the factors. Since 3 P-values are less than 0.05, these factors have a statistically significant effect on Tensao at the 95.0% confidence level.

* Todas as variáveis independentes e suas interações são significativas ao nível de 95% de probabilidade estatística

Cimento 2 e Turfa 1 - Multiple Range Tests for Tensao by Dosagem

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Dosagem</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 22 | 1.27604 | 0.288602 | X |
| 2 | 24 | 10.1796 | 0.272097 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -8.90354 | 0.80297 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 2 e Turfa 1 - Multiple Range Tests for Tensao by Idade

Method: 95.0 percent LSD

| <i>Idade</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|--------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 12 | 3.4875 | 0.384803 | X |
| 2 | 12 | 6.0275 | 0.384803 | X |
| 4 | 12 | 6.6025 | 0.384803 | X |
| 3 | 10 | 6.79375 | 0.430223 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -2.54 | 1.10167 |
| 1 - 3 | * | -3.30625 | 1.16849 |
| 1 - 4 | * | -3.115 | 1.10167 |
| 2 - 3 | | -0.76625 | 1.16849 |
| 2 - 4 | | -0.575 | 1.10167 |
| 3 - 4 | | 0.19125 | 1.16849 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 3 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 2 e Turfa 2 - Analysis of Variance for A.Tensao - Type III Sums of Squares

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:A.Dosagem | 1696.05 | 1 | 1696.05 | 945.73 | 0.0000 |
| B:A.Idade | 162.31 | 3 | 54.1033 | 30.17 | 0.0000 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 123.44 | 3 | 41.1467 | 22.94 | 0.0000 |
| RESIDUAL | 152.438 | 85 | 1.79338 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 2118.2 | 92 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variability of A.Tensao into contributions due to various factors. Since Type III sums of squares (the default) have been chosen, the contribution of each factor is measured having removed the effects of all other factors. The P-values test the statistical significance of each of the factors. Since 3 P-values are less than 0.05, these factors have a statistically significant effect on A.Tensao at the 95.0% confidence level.

* Todas as variáveis independentes e suas interações são significativas ao nível de 95% de probabilidade estatística

Cimento 2 e Turfa 2 - Multiple Range Tests for A.Tensao by A.Dosagem

Method: 95.0 percent LSD

| <i>A.Dosagem</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|------------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 46 | 1.08417 | 0.198066 | X |
| 2 | 47 | 9.64212 | 0.195477 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -8.55795 | 0.553303 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 2 e Turfa 2 - Multiple Range Tests for A.Tensao by A.Idade

Method: 95.0 percent LSD

| <i>A.Idade</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 24 | 3.21875 | 0.273358 | X |
| 2 | 24 | 5.46458 | 0.273358 | X |
| 3 | 22 | 6.07292 | 0.2867 | XX |
| 4 | 23 | 6.69633 | 0.279501 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -2.24583 | 0.768638 |
| 1 - 3 | * | -2.85417 | 0.787619 |
| 1 - 4 | * | -3.47758 | 0.777323 |
| 2 - 3 | | -0.608333 | 0.787619 |
| 2 - 4 | * | -1.23174 | 0.777323 |
| 3 - 4 | | -0.623409 | 0.796098 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 4 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 2 e Turfa 3 - Analysis of Variance for A.Tensao - Type III Sums of Squares

| <i>Source</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>Df</i> | <i>Mean Square</i> | <i>F-Ratio</i> | <i>P-Value</i> |
|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:A.Dosagem | 1762.35 | 1 | 1762.35 | 1404.98 | 0.0000 |
| B:A.Idade | 135.805 | 3 | 45.2685 | 36.09 | 0.0000 |
| INTERACTIONS | | | | | |
| AB | 169.515 | 3 | 56.505 | 45.05 | 0.0000 |
| RESIDUAL | 107.875 | 86 | 1.25436 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 2181.87 | 93 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

The StatAdvisor

The ANOVA table decomposes the variability of A.Tensao into contributions due to various factors. Since Type III sums of squares (the default) have been chosen, the contribution of each factor is measured having removed the effects of all other factors. The P-values test the statistical significance of each of the factors. Since 3 P-values are less than 0.05, these factors have a statistically significant effect on A.Tensao at the 95.0% confidence level.

* Todas as variáveis independentes e suas interações são significativas ao nível de 95% de probabilidade estatística

Cimento 2 e Turfa 3 - Multiple Range Tests for A.Tensao by A.Dosagem

Method: 95.0 percent LSD

| <i>A.Dosagem</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|------------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 46 | 1.00996 | 0.165648 | X |
| 2 | 48 | 9.68562 | 0.161656 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -8.67567 | 0.46012 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 1 pair, indicating that this pair shows a statistically significant difference at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 2 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.

Cimento 2 e Turfa 3 - Multiple Range Tests for A.Tensao by A.Idade

Method: 95.0 percent LSD

| <i>A.Idade</i> | <i>Count</i> | <i>LS Mean</i> | <i>LS Sigma</i> | <i>Homogeneous Groups</i> |
|----------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | 24 | 3.39292 | 0.228616 | X |
| 2 | 24 | 5.38042 | 0.228616 | X |
| 3 | 22 | 6.15283 | 0.239774 | X |
| 4 | 24 | 6.465 | 0.228616 | X |

| <i>Contrast</i> | <i>Sig.</i> | <i>Difference</i> | <i>+/- Limits</i> |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 1 - 2 | * | -1.9875 | 0.642723 |
| 1 - 3 | * | -2.75992 | 0.658595 |
| 1 - 4 | * | -3.07208 | 0.642723 |
| 2 - 3 | * | -0.772417 | 0.658595 |
| 2 - 4 | * | -1.08458 | 0.642723 |
| 3 - 4 | | -0.312167 | 0.658595 |

* denotes a statistically significant difference.

The StatAdvisor

This table applies a multiple comparison procedure to determine which means are significantly different from which others. The bottom half of the output shows the estimated difference between each pair of means. An asterisk has been placed next to 5 pairs, indicating that these pairs show statistically significant differences at the 95.0% confidence level. At the top of the page, 3 homogenous groups are identified using columns of X's. Within each column, the levels containing X's form a group of means within which there are no statistically significant differences. The method currently being used to discriminate among the means is Fisher's least significant difference (LSD) procedure. With this method, there is a 5.0% risk of calling each pair of means significantly different when the actual difference equals 0.