

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONCRETO EM TIJOLOS
PRENSADOS DE SOLO-CIMENTO**

MARCIA IKARUGI BOMFIM DE SOUZA

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio
de Mesquita Filho” – para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Civil.

Orientador:

Prof. Dr. Antonio Anderson da Silva Segantini

Ilha Solteira, março de 2006.

Dedico este trabalho ao meu amado marido Vilson, que com seu amor e cumplicidade me assistiu na realização deste sonho. E ao meu querido filho Kaio, fonte maior da minha motivação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus.

Ao professor Antonio Anderson da Silva Segantini, por todos os seus atos como orientador e amigo. Agradeço ainda pela sua dedicação e sua confiança na realização deste trabalho;

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da UNESP, Gilson Campos Corrêa, Mário Roberto Corrêa Ferreira e Ronaldo Mendes do Amaral, pela disposição e auxílio na execução dos ensaios de laboratório;

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da UNESP que sempre estiveram à disposição para esclarecer minhas dúvidas e auxiliar na resolução de problemas;

Aos engenheiros e companheiros do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UNESP em Ilha Solteira, pelo respeito, colaboração e apoio nos momentos difíceis;

Aos meus irmãos Márcio, Mércia e Maércio, meus cunhados Fernando e Janaína, meus sobrinhos Fernando e Mellissa e meu filho Kaio, que sempre vibraram com minhas conquistas. Em especial ao meu marido Vilson pelo auxílio nas atividades de laboratório;

Aos meus pais, José e Kazue, exemplos maiores de minha dedicação ao trabalho, responsáveis por tudo o que eu sou;

Ao Prof. Dr. Jorge Luiz Akasaki, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UNESP em Ilha Solteira;

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Muito obrigada a todos.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	18
2 – OBJETIVOS.....	21
3 – REVISÃO DE LITERATURA.....	22
3.1 – Solo como material de construção.....	22
3.1.1 – Estabilização do solo com cimento.....	23
3.1.2 – Compactação do solo.....	24
3.2 – Solo-Cimento.....	24
3.2.1 – Definição e histórico.....	24
3.2.2 – Critérios para a escolha do solo.....	26
3.2.3 – Qualidade do solo-cimento.....	27
3.2.4 – Dosagem do solo-cimento.....	27
3.2.5 – Custo do solo-cimento.....	28
3.2.6 – Tijolos de solo-cimento.....	29
3.3 – Desenvolvimento sustentável.....	31
3.4 – Resíduo de Construção e Demolição (RCD).....	33
3.4.1 – Definição e classificação.....	33
3.4.2 – Geração de resíduos.....	34
3.4.3 – Composição dos resíduos.....	36
3.4.4 – RCD e o meio ambiente.....	38

3.4.5 – Reciclagem.....	40
4 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
4.1 – Materiais.....	44
4.1.1 – Solo.....	44
4.1.2 – Cimento.....	45
4.1.3 – Água.....	45
4.1.4 – Resíduo de concreto.....	46
4.1.5 – Outros materiais.....	46
4.2 – Equipamentos.....	47
4.3 – Métodos.....	47
4.3.1 – Caracterização do solo, do resíduo e das misturas.....	48
4.3.2 – Retração linear.....	51
4.3.3 – Moldagem, cura e ruptura dos corpos-de-prova cilíndricos.....	52
4.3.4 – Fabricação dos tijolos.....	54
4.3.5 – Ensaio de resistência à compressão e absorção dos tijolos.....	56
4.3.6 – Confeção, cura e ruptura de prismas.....	59
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
5.1 - Caracterização do solo, do resíduo e das misturas.....	65
5.1.1 – Análise granulométrica.....	65
5.1.2 – Ensaio de compactação.....	69

5.1.3 – Massa específica dos sólidos.....	71
5.1.4 – Limites de consistência.....	71
5.1.5 – Limite de liquidez.....	72
5.2 – Classificação do solo.....	74
5.2.1 – Classificação segundo a AASHTO.....	74
5.2.2 – Classificação MCT.....	74
5.3 – Retração linear.....	76
5.4 – Grau de compactação.....	77
5.4.1 – Corpos-de-prova cilíndricos.....	77
5.4.2 – Corpos-de-prova feitos com tijolos.....	77
5.5 – Absorção dos tijolos.....	79
5.6 – Resistência à compressão.....	80
5.6.1 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos.....	80
5.6.2 – Resistência à compressão dos tijolos.....	86
5.6.3 – Resistência à compressão dos prismas.....	93
5.6.4 – Estatística dos resultados obtidos.....	95
6 – CONCLUSÕES.....	99
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXOS.....	107

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEPED	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento
CETESB	Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPA	Environmental Protection Agency
HRB	Highway Research Board
LCEC	Laboratório CESP de Engenharia Civil
ONU	Organização das Nações Unidas
PCA	Portland Cement Association
RCRA	Resource Conservation and Recovering Act
UNESP	Universidade Estadual Paulista

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição
CPs	Corpos-de-prova
GC	Grau de compactação
IP	Índice de plasticidade
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
SCC	Solo-cimento compactado
SCP	Solo-cimento plástico
w	Teor de umidade
w _{ot}	Teor de umidade ótima do solo
ρ_d	Massa específica seca máxima
ρ_s	Massa específica dos sólidos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Presença de blocos de concreto no entulho.....	38
Figura 2. Vista do local de lançamento de entulho de Ilha Solteira-SP.....	40
Figura 3. Área de predominância do solo em estudo.....	45
Figura 4. Resíduo de concreto peneirado.....	46
Figura 5. Ensaio de granulometria.....	48
Figura 6. Sedimentação.....	49
Figura 7. Ensaio de determinação da massa específica dos grãos.....	49
Figura 8. Ensaio para determinação do limite de liquidez.....	50
Figura 9. Ensaio para determinação do limite de plasticidade.....	50
Figura 10. Dimensões da caixa e colocação do material.....	51
Figura 11. Corpos-de-prova cilíndricos.....	52
Figura 12. Ensaio de compressão simples.....	53
Figura 13. Ruptura do corpo-de-prova.....	53
Figura 14. Lubrificação da prensa.....	54
Figura 15. Material sendo colocado na prensa.....	55
Figura 16. Tijolo pronto logo após a prensagem.....	55
Figura 17. Tijolos de solo-cimento com adição de resíduo de concreto.....	56
Figura 18. Tijolo cortado ao meio para preparação do corpo-de-prova.....	57
Figura 19. Assentamento das metades com pasta de cimento Portland.....	57

Figura 20. Capeamento com gesso.....	58
Figura 21. Ensaio de resistência à compressão simples.....	58
Figura 22. Ruptura do corpo-de-prova.....	59
Figura 23. Gabarito utilizado para confecção dos prismas.....	60
Figura 24. Argamassa de assentamento e gabarito de 10 mm de espessura.....	60
Figura 25. Assentamento e nivelamento do 2º tijolo.....	61
Figura 26. Assentamento e nivelamento do 3º tijolo.....	61
Figura 27. Prismas constituídos por 2, 3 e 4 tijolos.....	62
Figura 28. Ensaio de compressão do prisma.....	62
Figura 29. Ruptura do prisma constituído por 2 tijolos.....	63
Figura 30. Ruptura do prisma constituído por 3 tijolos.....	63
Figura 31. Ruptura do prisma constituído por 4 tijolos.....	64
Figura 32. Curva granulométrica do solo.....	66
Figura 33. Curva granulométrica do solo com 20% de resíduo.....	66
Figura 34. Curva granulométrica do solo com 40% de resíduo.....	67
Figura 35. Curva granulométrica do solo com 60% de resíduo.....	67
Figura 36. Curva granulométrica do resíduo.....	68
Figura 37. Limite de liquidez do solo.....	72
Figura 38. Limite de liquidez do solo com 20% de resíduo.....	72
Figura 39. Limite de liquidez do solo com 40% de resíduo.....	73

Figura 40. Limite de liquidez do solo com 60% de resíduo.....	73
Figura 41. Gráfico de classificação pela metodologia MCT.....	75
Figura 42. Retração linear.....	76
Figura 43. Resistência à compressão dos corpos-de-prova aos 07 dias.....	81
Figura 44. Resistência à compressão dos corpos-de-prova aos 28 dias.....	81
Figura 45. Resistência à compressão dos corpos-de-prova aos 56 dias.....	82
Figura 46. Resistência à compressão dos corpos-de-prova aos 120 dias.....	82
Figura 47. Resistência à compressão dos corpos-de-prova aos 240 dias.....	83
Figura 48. Resistência à compressão dos corpos-de-prova sem resíduo.....	83
Figura 49. Resistência à compressão dos corpos-de-prova com 20% de resíduo.....	84
Figura 50. Resistência à compressão dos corpos-de-prova com 40% de resíduo.....	84
Figura 51. Resistência à compressão dos corpos-de-prova com 60% de resíduo.....	85
Figura 52. Evolução da resistência dos corpos-de-prova.....	85
Figura 53. Resistência à compressão dos tijolos aos 07 dias.....	88
Figura 54. Resistência à compressão dos tijolos aos 28 dias.....	88
Figura 55. Resistência à compressão dos tijolos aos 56 dias.....	89
Figura 56. Resistência à compressão dos tijolos aos 120 dias.....	89
Figura 57. Resistência à compressão dos tijolos aos 240 dias.....	90
Figura 58. Resistência à compressão dos tijolos sem resíduo.....	90
Figura 59. Resistência à compressão dos tijolos com 20% de resíduo.....	91

Figura 60. Resistência à compressão dos tijolos com 40% de resíduo.....	91
Figura 61. Resistência à compressão dos tijolos com 60% de resíduo.....	92
Figura 62. Evolução da resistência dos tijolos.....	92
Figura 63. Resistência à compressão dos prismas.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixas granulométricas ideais para o solo-cimento.....	26
Tabela 2. Teor de cimento sugerido para o ensaio de compactação.....	28
Tabela 3. Entulho de construção e demolição em capitais brasileiras.....	35
Tabela 4. Participação dos RCD no volume dos resíduos sólidos.....	35
Tabela 5. Custo com o gerenciamento de resíduos nos municípios brasileiros.....	36
Tabela 6. Resíduos gerados na cidade de São Paulo.....	37
Tabela 7. Municípios com ações na gestão de resíduos.....	42
Tabela 8. Composição granulométrica.....	65
Tabela 9. Umidade ótima e massa específica aparente seca máxima.....	69
Tabela 10. Massa específica dos sólidos.....	71
Tabela 11. Limites de consistência.....	71
Tabela 12. Classificação geotécnica MCT.....	75
Tabela 13. Retração linear.....	76
Tabela 14. Grau de compactação dos corpos-de-prova cilíndricos.....	77
Tabela 15. Grau de compactação dos tijolos.....	78
Tabela 16. Absorção dos tijolos.....	79
Tabela 17. Resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos.....	80
Tabela 18. Resistência à compressão dos tijolos aos 07 dias.....	86
Tabela 19. Resistência à compressão dos tijolos.....	87

Tabela 20. Resistência à compressão dos prismas.....	93
Tabela 21. Média, desvio padrão e Coeficiente de Variação – 07 dias.....	95
Tabela 22. Média, desvio padrão e Coeficiente de Variação – 28 dias.....	96
Tabela 23. Média, desvio padrão e Coeficiente de Variação – 56 dias.....	96
Tabela 24. Média, desvio padrão e Coeficiente de Variação – 120 dias.....	97
Tabela 25. Média, desvio padrão e Coeficiente de Variação – 240 dias.....	97

RESUMO

O aproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) no setor da construção civil é uma alternativa economicamente atrativa e ambientalmente correta. Em determinadas situações, os RCD podem ser utilizados com vantagens técnicas e redução de custos, como é o caso, por exemplo, da produção de solo-cimento. Neste trabalho são apresentados resultados de ensaios realizados para a caracterização de amostras de solo, com características geotécnicas representativas dos solos comumente encontrados na Região Oeste do Estado de São Paulo, e de composições deste solo com resíduos de concreto, tendo em vista a produção de tijolos prensados de solo-cimento. Objetivou-se, desta forma, propor soluções técnicas para reduzir o custo de produção do solo-cimento, melhorar a qualidade dos tijolos e propiciar condições para o aproveitamento deste resíduo. Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos, corpos-de-prova confeccionados a partir de tijolos prensados e prismas, os quais foram ensaiados seguindo-se as recomendações das Normas Técnicas Brasileiras pertinentes. Os resultados obtidos mostraram que a adição do resíduo de concreto ao solo melhorou as propriedades mecânicas do solo-cimento, possibilitando redução de custos e produção de tijolos prensados de melhor qualidade, constituindo-se, portanto, numa excelente alternativa para o aproveitamento deste material.

Palavras chaves: Resíduos de construção e demolição, tijolos de solo-cimento, desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

Construction and demolition residues utilization in the sector of the civil construction is an environmentally correct and economically attractive alternative. In determined situations, the construction and demolition residues can be use with technical advantages and costs reduction, as is the case, by example, in the soil-cement production. In this work are presented results of soil characterization tests, with geotechnical characteristics representative of soils found at west region of São Paulo State and the compositions of this soil type with concrete residues, looking for its application on manufacturing soil-cement pressed bricks. It the aim, in this way, was to propose technical solutions to reduce the soil-cement production cost, to improve the quality of the bricks and to generate conditions for use of this residue. Cylindrical specimen of soil-cement, soil-cement pressed bricks and prisms were molded and test, according to the of Brazilians Standards. The results obtained showed that the concrete residue addition to soil enhanced mechanical properties of the soil-cement, decreasing cost and improving manufacturing bricks pressed with a better quality, establishing an excellent alternative for application of this material.

Keywords: Construction and demolition residues, soil-cement bricks, sustainable development.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e a tendência de escassez dos recursos naturais tem levado a construção civil, uma das atividades mais importantes da economia brasileira, a buscar alternativas que estejam alinhadas aos novos conceitos e técnicas de crescimento sustentável, pois nos dias atuais, a sustentabilidade das atividades econômicas tem sido um dos principais desafios enfrentados pela humanidade.

Neste contexto, a construção civil desempenha papel importante, pois é uma atividade geradora de grandes volumes de resíduos, os quais na maioria das vezes são depositados em locais inadequados. O meio técnico-científico, desta forma, depara-se com o desafio de transformar estes resíduos em fonte alternativa de matéria-prima, de preferência, para aproveitamento no próprio setor.

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são constituídos por restos ou sobras de materiais de construção. Nos entulhos são encontrados normalmente restos de argamassa e concreto, materiais cerâmicos, metais, plásticos, madeiras, papéis e vidros. Os restos de argamassas, concretos e materiais cerâmicos, encontrados em maior volume, podem

transformados em agregados para uso, por exemplo, em matrizes de concreto ou de solo-cimento, e a grande maioria dos outros resíduos pode ser reciclada.

Assim, objetivou-se neste trabalho estudar e avaliar a aplicação dos resíduos de concreto na confecção de tijolos prensados de solo-cimento. A escolha deste resíduo foi feita porque em Ilha Solteira-SP, especificamente, este tipo de resíduo é o mais encontrado nas caçambas das empresas coletoras de entulhos. Isto se deve ao fato de que todas as edificações comerciais, residenciais e industriais, erguidas no período da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP, foram executadas em alvenaria de blocos de concreto. Isto faz com que hoje, em função do grande volume de obras de reforma e ampliação existentes na cidade, os resíduos de concreto sejam os materiais encontrados em maior volume na composição dos entulhos, estimulando o interesse por pesquisas que visem o seu aproveitamento.

O solo utilizado para confeccionar os tijolos foi coletado na área de empréstimo da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira-SP, que se localiza à margem esquerda do Rio Paraná, à montante da Barragem da Usina Hidrelétrica. Trata-se de um solo A4 (areia fina argilosa – Classificação HRB), cujas características geotécnicas são representativas daquelas relativas aos solos existentes na região Oeste do Estado de São Paulo, cobrindo mais de 50% da área do Estado.

A confecção dos tijolos se deu por intermédio de uma prensa manual, utilizando-se misturas a partir do sol natural, solo mais 20% de resíduo, solo mais 40% de resíduo e solo mais 60% de resíduo, com emprego de três teores de cimento, 6%, 8% e 10%, todos em relação à massa resultante da mistura solo-resíduo. Os tijolos, assim produzidos, foram utilizados na preparação dos corpos-de-prova, seguindo-se as recomendações da NBR 8492 – Tijolos maciços de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água.

Foram também confeccionados corpos-de-prova cilíndricos, seguindo-se as prescrições da NBR 12024 – Moldagem de corpos-de-prova de solo-cimento.

A realização dos ensaios de resistência à compressão, tanto dos tijolos como dos corpos-de-prova cilíndricos, foi efetuada aos 07 dias, 28 dias, 56 dias, 120 dias e 240 dias, sendo estas idades fixadas em função de resultados obtidos de trabalhos anteriores, em que se observou que o material continua ganhando resistência de forma considerável após a idade de 28 dias. Este aspecto foi constatado por Ferraz (2004), que estudou a possibilidade de aproveitamento de resíduos de argamassa de cimento na confecção de tijolos de solo-cimento.

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil da UNESP em Ilha Solteira-SP, contando com infra-estrutura, materiais e pessoal técnico habilitado para a realização dos ensaios necessários.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi o de estudar o aproveitamento dos resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento. Pretendeu-se, com isto, avaliar a possibilidade técnica desta aplicação e a influência da utilização do resíduo de concreto na qualidade e no custo do solo-cimento resultante.

Não obstante, objetivou-se contribuir no sentido de proporcionar uma alternativa apropriada para destino do resíduo de concreto, além de preservar o meio ambiente e de atenuar os problemas enfrentados atualmente pelas prefeituras, com esgotamento dos locais para bota-fora, notadamente nos grandes centros urbanos, acarretando na possível deposição dos resíduos de construção e demolição em locais inadequados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SOLO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

Muito antes do que se possa imaginar, o solo já era utilizado em construções. Cytryn (1957), afirmou que a construção com terra foi a primeira solução encontrada pelo homem primitivo para construir abrigos eficientes contra as hostilidades do meio ambiente, sobretudo em locais para difícil manuseio de rochas e madeiras.

O solo misturado com rochas e madeiras foi sem dúvida o material que serviu de base para a construção, devido a facilidade de obtenção e grande abundância dessas matérias-primas.

Cytryn (1957) relatou descobertas arqueológicas em diversas localidades da China (incluindo a Grande Muralha), Índia, Síria, Palestina, Irã, Egito, Grécia e Itália, cujos métodos de construção com solo foram disseminados em extensas áreas na Europa, onde hoje se localizam a França, a Alemanha e a Inglaterra.

No Brasil, a utilização do solo como material de construção iniciou-se por intermédio dos exploradores portugueses. Grande parte das cidades históricas brasileiras, como Ouro Preto, tem o solo como constituinte básico das construções mais antigas.

3.1.1 Estabilização do solo com cimento

O solo é utilizado em diversas aplicações na engenharia, podendo substituir diversos materiais e propiciar redução de custos na construção. A adequação do solo se faz necessária para obter-se melhoria de suas características mecânicas e de sua durabilidade. Essa melhoria é conseguida com a utilização de aditivos e mediante compactação.

Na antiguidade, a palha, o asfalto natural e até o óleo de baleia eram os aditivos mais utilizados. Atualmente se usa o cimento Portland, a cal, o asfalto, entre outros. O estabilizador de solo mais utilizado é o cimento Portland, por suas propriedades que o consagraram na construção de estradas.

De acordo com Freire (1976), a utilização do cimento como agente estabilizador de solos teve início nos Estados Unidos, em 1916, quando foi empregado para solucionar problemas causados pelo tráfego de veículos com rodas não pneumáticas. Desde então, o solo-cimento passou a ter boa aceitação e a ser utilizado em construções habitacionais, pavimentação de estradas e vias urbanas, aeroportos, acostamentos, revestimento de barragens de terra, canais de irrigação, além de muitas outras aplicações.

3.1.2 Compactação do solo

Segundo Blücher (1951), a compactação do solo é o processo pelo qual suas partículas são forçadas a se agruparem mais estreitamente, através da redução dos vazios. Este processo geralmente é feito por meios mecânicos.

Em 1933, *R. Proctor* publicou uma série de artigos sobre métodos de controle de compactação. Seus estudos enunciaram uns dos mais importantes princípios da Mecânica dos Solos, ou seja, que a densidade de um solo compactado é função do teor de umidade no momento de sua compactação. Proctor percebeu que, para uma energia de compactação constante, ao se adicionar água ao solo, sua densidade aparente aumentava até certo ponto, o qual ficou conhecido como umidade ótima. Ao acrescentar teores de umidade acima do ótimo, a densidade tornava-se a reduzir, pois o excesso de água absorve parte da energia de compactação e a redistribui ao sistema, afastando as partículas sólidas (GRANDE, 2003).

A nova configuração do solo após a compactação afeta significativamente suas características mecânicas e, conseqüentemente, sua porosidade e permeabilidade também são modificadas.

3.2 SOLO-CIMENTO

3.2.1 Definição e histórico

Segundo a ABCP (1986), o solo-cimento é o produto resultante da mistura íntima de solo, cimento Portland e água que compactados na umidade ótima e sob a máxima massa específica seca, em proporções previamente estabelecidas, adquire resistência e durabilidade através das reações de hidratação do cimento.

O produto resultante deste processo é um material de boa resistência à compressão e boa impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade. O solo é o componente que entra em maior volume na obtenção do solo-cimento. O cimento entra em quantidades que variam de 5% a 10% da massa do solo, o suficiente para estabilizá-lo e conferir-lhe as propriedades de resistência desejadas.

Segundo Ferraz (2004) o solo-cimento é classificado em duas categorias: SCC (solo-cimento compactado) e SCP (Solo-cimento plástico). No caso do SCC a água deve ser adicionada em quantidade suficiente, de modo que possibilita a compactação máxima e a favoreça as reações de hidratação do cimento. No caso do SCP, a água é adicionada até que se obtenha um produto de consistência plástica, de aspecto similar ao de uma argamassa de emboço.

A conceituação do solo-cimento teve origem em Sallsburg em 1917. Entretanto, havia poucos relatos até 1932, quando se teve notícia dos primeiros trabalhos cientificamente controlados, por meio da sua utilização na pavimentação de 17.000 m² em Johnsonville, Carolina do Sul, EUA (ANDRADE FILHO, 1989).

O interesse pelo assunto no Brasil se deu a partir de 1936, através da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, que regulamentou e pesquisou sua aplicação, levando em 1941 à pavimentação do Aeroporto de Petrolina-PE. A rede pavimentada de solo-cimento no Brasil alcançava, em 1970, a casa dos 7500 quilômetros.

O solo-cimento foi utilizado em habitações a partir de 1948, em experiências desenvolvidas pela ABCP, com a construção de duas casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis-RJ. A qualidade do produto e da técnica construtiva pode ser atestada pelo bom estado de conservação destas casas após vários anos de utilização.

3.2.2 Critérios para a escolha do solo

Os solos de maneira geral apresentam melhorias significativas em suas propriedades mecânicas quando misturados com cimento e devidamente compactados. Devem possuir em sua composição um teor mínimo da fração fina, pois a resistência inicial do solo-cimento é devida à coesão da fração fina compactada. A experiência tem demonstrado que quando os solos possuem um teor de silte mais argila inferior a 20%, não se consegue uma resistência inicial para a sua compactação (SEGANTINI, 2000).

Na tabela 1 são apresentadas as faixas granulométricas consideradas ideais para a composição do solo-cimento.

Tabela 1 – Faixas granulométricas ideais para solo-cimento.

Autores	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Silte + Argila (%)	LL (%)
CINVA (1963)	45-80	-	-	20-25	-
ICPA (1973)	60-80	10-20	5-10	-	-
MAC (1975)	40-70	< 30	20-30	-	-
CEPED (1984)	45-90	-	< 20	10-55	45-50
PCA (1969)	65	-	-	10-35	-

Fonte: SEGANTINI (2000).

Segantini (2000) afirmou que, quanto à granulometria, os solos arenosos são considerados os mais adequados. A existência de grãos de areia grossa e pedregulho é altamente benéfica, pois são materiais inertes e com função apenas de enchimento. Isso favorece a liberação de quantidades maiores de cimento para aglomerar os grãos menores.

Segundo Silveira (1966), os solos arenosos e pedregulhosos com cerca de 10% a 35% da fração silte e argila, são considerados os mais favoráveis para a estabilização com cimento. Os solos arenosos deficientes em finos são também considerados materiais de boa qualidade, havendo apenas maior dificuldade para efetuar-se sua compactação e seu acabamento.

3.2.3 Qualidade do solo-cimento

Os fatores que influenciam a qualidade do solo-cimento são: tipo do solo, teor de cimento, método de mistura e compactação. O tipo do solo é o fator que exerce maior influência na qualidade do produto.

Segundo a PCA (1969), como mostra a tabela 1, solos arenosos e pedregulhosos contendo cerca de 65% de areia e quantidade de silte mais argila variando de 10% a 35% se constituem em excelentes materiais para a obtenção de um solo-cimento econômico e de qualidade.

O solo considerado ideal, segundo vários autores, deve conter cerca de 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho (CEPED, 1984).

De maneira geral, considera-se adequado o solo que possua as seguintes características:

- 100% dos grãos passando na peneira nº 04 (4,8 mm);
- 15% a 100% dos grãos passando na peneira nº 40 (0,42 mm);
- 10% a 50% dos grãos passando na peneira nº 200 (0,075 mm);
- Limite de Liquidez $\leq 45\%$ e,
- Limite de Plasticidade $\leq 18\%$.

3.2.4 Dosagem do solo-cimento

De acordo com a ABCP (1986), a dosagem do solo-cimento deve ser feita por meio de ensaios de laboratório, passando a seguir pela análise e interpretação dos resultados com base em critérios pré-estabelecidos. O resultado final consiste na fixação de três parâmetros: quantidade de cimento, quantidade de água e massa específica aparente seca máxima. Os dois últimos são parâmetros sujeitos a oscilações em função das variações decorrentes do trabalho

de campo, e por esta razão, passaram a ser tomados apenas como elementos de controle. Com isto, o objetivo da dosagem passou a ser tão somente a fixação da quantidade adequada de cimento.

Na tabela 2 está expressa a dosagem da mistura recomendada pela ABCP (1986) e utilizada pelo Laboratório CESP de Engenharia Civil (LCEC), em Ilha Solteira-SP, na dosagem de solo-cimento.

Tabela 2 – Teor de cimento sugerido para compactação.

Classificação H.R.B.	Teor de cimento em peso (%)
A1-a	5
A1-b	6
A2	7
A3	8
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fonte: ABCP (1986).

3.2.5 Custo do solo-cimento

Segundo a ABCP (1987), a utilização do solo-cimento na construção de habitações populares permite redução de custos. Isto se torna possível graças ao baixo custo do solo, que é o material usado em maior quantidade, além da redução de custos com energia. Existe ainda possibilidade de redução de custos com a mão-de-obra, pois o processo não requer, em grande número, profissionais especializados em construção.

3.2.6 Tijolos de solo-cimento

Os tijolos de solo-cimento constituem uma das alternativas para a construção da alvenaria em habitações e em outras edificações. Utilizando como matéria-prima o solo, cimento e água, o tijolo é produzido por prensagem, dispensando a queima em fornos. A viabilidade de sua produção depende basicamente da existência de solos adequados para a sua confecção.

O processo de fabricação dos tijolos abrange as seguintes etapas:

- Preparação do solo: que consiste em destorroar e peneirar o solo seco;
- Preparo da mistura: adiciona-se o cimento ao solo preparado e realiza-se uma homogeneização dos materiais secos; depois, adiciona-se água e mistura-se o material até uniformizar-se a umidade do solo;
- Moldagem dos tijolos: pode ser efetuada em prensas manuais ou hidráulicas;
- Cura e armazenamento: durante os sete primeiros dias os tijolos devem ser mantidos úmidos por meio de sucessivas molhagens.

As quantidades de material (solo, cimento e água) a serem misturadas podem ser medidas em massa. A relação entre as quantidades deve propiciar tijolos com qualidade satisfatória após os primeiros sete dias de cura.

As vantagens dos tijolos solo-cimento vão desde sua fabricação até sua utilização no canteiro de obras. Os equipamentos utilizados em sua fabricação são simples e apresentam baixo custo. A mão-de-obra para operar os equipamentos não precisa ser especializada, e a fabricação pode ser feita no próprio canteiro de obras.

A resistência à compressão, em geral, é superior à do tijolo convencional. A qualidade e o aspecto final das peças são visivelmente superiores, com maior regularidade dimensional e

planicidade de suas faces. Isto propicia menor consumo de argamassa de assentamento e de revestimentos. Existe ainda a possibilidade de o tijolo de solo-cimento ser empregado em alvenaria aparente, necessitando apenas uma pintura impermeável para o seu acabamento.

Além das vantagens econômicas, o tijolo de solo-cimento agrada também pelo fato de não sofrer processo de cozimento, no qual são consumidas grandes quantidades de madeira ou de outros combustíveis, como é o caso dos tijolos produzidos em olarias. E, ao contrário dos tijolos de argila queimada, que quando quebram não podem ser reaproveitados, os de solo-cimento podem ser moídos e prensados novamente.

O solo-cimento tem como vantagens adicionais a de oferecer conforto térmico e acústico superior ao das construções convencionais, além de propiciar melhores condições de trabalho, pois o canteiro fica melhor organizado, propiciando redução de desperdícios e geração de menor quantidade de entulho.

Carneiro et al. (2001) ressaltaram outra vantagem dos tijolos de solo estabilizado: a possibilidade de incorporar outros materiais na sua fabricação, como por exemplo, agregados produzidos com entulho reciclado e rejeitos industriais (sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto forno e outros).

Segundo Grande (2003), os tijolos de solo-cimento podem ser utilizados em alvenaria de vedação ou estrutural, desde que atendam aos critérios de resistência estabelecidos nos projetos.

Atualmente, a necessidade crescente de construção de moradias, em especial as chamadas habitações populares, aumenta em todos os países. A impossibilidade de solucionar os problemas do déficit habitacional, por meio das construções convencionais, propicia o surgimento de novas alternativas de construção capazes de atender a população mais carente.

Segundo Ferraz (2004), o uso do solo-cimento com aproveitamento dos resíduos de construção pode ser uma destas alternativas, pois o solo é uma matéria-prima abundante, e pode contribuir no sentido de reduzir custos e induzir os projetistas ao hábito de construir harmonizando projeto arquitetônico, materiais locais e sistema construtivo.

3.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A adoção de uma política de incentivo para o reaproveitamento dos bens minerais descartados pelas obras civis pode reduzir a quantidade de minerais extraídos das jazidas e, conseqüentemente, diminuir o impacto ambiental por meio da reutilização e da reciclagem dos rejeitos minerais (OLIVEIRA, 2002).

O relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, constituída pela Organização das Nações Unidas - ONU, divulgado em 1987 com o título de *Nosso Futuro Comum* ou Relatório *Brundtland*, representou um marco no enfrentamento da questão ambiental, ao propor a perspectiva de busca do chamado desenvolvimento sustentável, ou seja, um desenvolvimento que permita à humanidade “usufruir os recursos naturais sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras também possam fazê-lo”. O Relatório apresentou diversas proposições para reduzir as ameaças à sobrevivência da humanidade, para tornar viável o desenvolvimento e para interromper o ciclo causal e cumulativo entre subdesenvolvimento, condições de pobreza e problemas ambientais (BITAR, 1999).

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, realizado no Brasil na cidade do Rio de Janeiro, em junho de 1992, contou com a participação de 170 países membros da ONU. O resultado desta conferência foi a criação da Agenda 21. Esta, por sua vez, tratou de um acordo entre os países presentes ao encontro para colocar em

prática, pelos governos, agências de desenvolvimento, Órgãos das Nações Unidas e outras entidades, um amplo programa para o desenvolvimento sustentável do Planeta (FERRAZ, 2004).

Os recursos minerais são tidos como a principal matéria-prima para a produção dos materiais de construção civil e a Agenda 21 não foi explícita quanto a estes recursos, mas dedicou na Seção II, um Capítulo aos recursos terrestres. Após cinco anos daquela Conferência, a implementação da Agenda 21 foi avaliada em evento da ONU, realizado em Nova York em 1997, conhecida como Conferência Rio+5. O documento apresentado pelo governo brasileiro na Conferência, contemplando as ações executadas nas esferas federal, estaduais e municipais, desde 1992, reconhece que os avanços em relação ao planejado para a gestão dos recursos terrestres estão aquém das necessidades no País, tendo sido avaliados como precários (OLIVEIRA, 2002).

A Resolução CONAMA 307, aprovada em 05/07/2002, criou instrumentos para a superação dos problemas gerados pelos resíduos de construção e demolição, definindo responsabilidades e deveres e abrindo caminho para o preparo de normas técnicas tanto para o correto manejo dos resíduos como para seu uso pós-reciclagem. A resolução impõe aos geradores a obrigatoriedade da redução, reutilização e reciclagem dos resíduos. Mas, diante das características diversas destes geradores, foi definida, para os municípios e Distrito Federal, a necessidade de desenvolverem e programarem Planos Integrados de Gerenciamento que possibilitem a expressão das responsabilidades dos geradores, correspondentes à sua diversidade (PINTO, 2004).

3.4 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

3.4.1 Definição e classificação

Segundo a Resolução CONAMA 307, resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulho de obras, caliça ou metralha.

Os resíduos, sejam eles quais forem, devem ser classificados do ponto de vista do risco ambiental, para que possam sofrer o correto destino ou manuseio. No Brasil existe uma norma que trata da classificação dos resíduos sólidos, a NBR 10004 (1987) – “Resíduos Sólidos - Classificação”. De acordo com esta norma, os RCD podem ser classificados na classe III, ou seja, inertes. Isto se deve ao fato de que estes resíduos possuem componentes minerais não poluentes e serem inertes quimicamente (LEITE, 2001). Entretanto, segundo Zordan (2004) a heterogeneidade deste resíduo e a dependência direta de sua procedência e das características das obras que lhes deram origem podem enquadrá-lo em outra faixa de classificação, ou seja, uma obra pode fornecer um entulho inerte e outra pode apresentar elementos que o tornem não-inerte ou até mesmo perigoso.

Os resíduos da construção civil são classificados pela Resolução CONAMA 307, da seguinte forma:

- Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: componentes cerâmicos, argamassas e concretos;

- Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tal como: o gesso;
- Classe D: são os resíduos perigosos, oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes e óleos, entre outros.

3.4.2 Geração dos resíduos

A construção civil é certamente o setor no qual gera-se a maior quantidade de resíduos. Segundo John (2004) o volume de entulho de construção e demolição gerado é cerca de duas vezes maior do que o volume de lixo sólido urbano. Em São Paulo o volume de entulho gerado é de 2500 caminhões por dia. Na Finlândia o volume de entulho é o dobro do lixo sólido urbano.

Praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil são geradoras de entulho. No processo construtivo, o alto índice de perdas do setor é a principal causa do entulho gerado. Embora nem toda perda se transforme efetivamente em resíduo, uma parte fica na própria obra. Nas obras de reformas a falta de cultura de reutilização e reciclagem são as principais causas do entulho gerado (ZORDAN, 2004).

Em Ilha Solteira-SP, segundo informações colhidas junto a uma empresa coletora de entulho, estima-se em 2.500 m³/mês o volume de entulho de construção e demolição gerado na cidade, o que resulta em aproximadamente 1,2 m³/hab.ano (FERRAZ, 2004).

Dados da revista *Téchne*, de janeiro de 2004, revelam que a quantidade de entulho de construção e demolição gerada diariamente na cidade de São Paulo já alcança 17.000 toneladas por dia, com crescimento de mais de três vezes em apenas oito anos (FERRAZ, 2004).

Na tabela 3 são apresentadas as quantidades de entulho gerado nas principais capitais brasileiras.

Tabela 3 - Entulho de construção e demolição em capitais brasileiras.

Município	População	Entulho (ton/dia)	Entulho (kg/hab.dia)
São Paulo ⁽¹⁾	15.000.000	5.000	0.333
Salvador ⁽²⁾	2.200.000	1.700	0.773
Belo Horizonte ⁽³⁾	2.010.000	1.200	0.597

Fontes: LEITE (2001) a partir de: (1) CONSTRUÇÃO (1996); (2) VIERA et al. (1998); (3) CARNEIRO et al. (2000).

Na tabela 4 são apresentados os valores percentuais de RCD em relação aos resíduos sólidos gerados em alguns países.

Tabela 4 - Participação dos RCD no total de resíduos sólidos.

Países	RCD (%) em massa	Ano
Países Baixos	26	1996
Austrália	20-30	1994
Estados Unidos	20-39	1998
Alemanha	19	1994
Finlândia	13-15	1994
Brasil	54-57	1999
Inglaterra	17	1997
Holanda	13-30	1998
Bélgica	66	1994
Europa Ocidental	66	1996

Fonte: ANGULO (2000).

Os custos com remoção e aterramento dos resíduos estão cada vez mais altos, e isto se deve basicamente à escassez de locais para a sua deposição e ao aumento das distâncias a serem percorridas durante essa operação.

Na tabela 5 são apresentados dados de custo de gerenciamento de resíduos em alguns municípios brasileiros.

Tabela 5 - Custo com o gerenciamento de resíduos de municípios brasileiros.

Município	Custo
Belo Horizonte / MG	US\$ 7.92/tonelada
São José dos Campos / SP	US\$ 10.66/tonelada
Ribeirão Preto / SP	US\$ 5.37/tonelada
São José do Rio Preto / SP	US\$ 11.38/tonelada

Fonte: LEITE (2001), a partir de: LIMA (1999).

3.4.3 Composição dos resíduos

Os resíduos de construção têm uma composição que depende muito da fonte que o originou e do momento em que foi colhida a amostra. Como o setor de construção desenvolve várias atividades dentro do canteiro de obras, o resíduo gerado também pode ser composto por uma enorme gama de materiais. Além disso, uma edificação é composta por uma grande variedade de diferentes componentes, e quando ocorre a sua demolição esta característica fica evidenciada na composição do resíduo resultante (LEVY, 1997).

Zordan (1997) enfatizou que o resíduo de construção e demolição talvez seja o mais heterogêneo de todos os resíduos industriais e, ainda, que a sua composição química está relacionada com a composição dos materiais que o compõe.

Assim sendo, a caracterização do resíduo é imprescindível em estudos de alternativas que visem a sua redução, reutilização ou reciclagem (LIMA et al., 2001).

Os constituintes do entulho podem ser catalogados conforme o percentual em que aparecem no bota-fora. Os rejeitos gerados possuem diversos materiais como: asfalto, vidro, concreto, argamassa, cal, material cerâmico, material de poda, pedra britada, madeira, blocos e tijolos, papel, tintas e vernizes, gesso, plásticos, metais, solventes, pigmentos e solo (OLIVEIRA, 2002).

A tabela 6 mostra o percentual dos resíduos gerados pela atividade da construção civil na cidade de São Paulo.

Tabela 6 - Resíduos gerados na cidade de São Paulo.

Constituintes	Porcentagem
Inertes	65
Madeira	13
Plástico	8
Outros materiais	14

Fonte: OLIVEIRA (2002) a partir de ATESP (2000)

Os transportadores de resíduos denominam de inertes todos os rejeitos provenientes de concretos, argamassas, gesso, cal, materiais cerâmicos, vidro, blocos de concreto, concreto celular e solo.

Apresenta-se na figura 1 uma foto de uma caçamba com resíduos de construção e demolição destacando-se uma grande quantidade de blocos de concreto.



Figura 1 – Presença de blocos de concreto no entulho.

3.4.4 RCD e o meio ambiente

Com a intensa industrialização, advento de novas tecnologias, crescimento populacional e aumento de pessoas em centros urbanos, e diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos se transformaram em graves problemas urbanos com um gerenciamento oneroso e complexo, considerando seu volume e massa acumulados, sobretudo após 1980. Os problemas se caracterizavam por escassez de áreas para a deposição de resíduos, causadas pela ocupação desordenada e pela valorização de áreas urbanas, altos custos sociais no gerenciamento de resíduos, problemas de saneamento público e contaminação ambiental (JOHN, 2000).

Nas cidades brasileiras a maioria dos resíduos de construção e demolição é depositada em aterros clandestinos, obstruindo córregos e sistemas de drenagem, causando enchentes que favorecem o acúmulo de água e a proliferação de mosquitos e outros vetores.

Durante a ECO-92 e a definição da Agenda 21, houve destaque para a necessidade urgente de se implementar um adequado sistema de gestão ambiental para os resíduos sólidos (GÜNTHER, 2000). Uma das formas de solução para os problemas gerados é a reciclagem de resíduos. A construção civil tem grande potencial para o aproveitamento dos resíduos, uma vez que nela se consomem cerca 75% de recursos naturais (JOHN, 2000).

A questão ambiental no Brasil ainda é tratada como sendo um problema de preservação da natureza, particularmente florestas, animais em extinção, deposição em aterros adequadamente controlados e controle da poluição do ar, com o Estado exercendo o papel de polícia. A recente lei federal de crimes ambientais (nº 9.605, 13 Fev 1998) revela um Estado ainda mais voltado à punição das transgressões à legislação ambiental vigente do que em articular os diferentes agentes sociais na redução do impacto ambiental das atividades, mesmo que legais, do desenvolvimento econômico. Um contraponto a esta ação predominantemente policial foi a iniciativa do Governo do Estado de São Paulo, através da CETESB, de implantação das 17 Câmaras Ambientais Setoriais, inclusive a da Construção Civil (ANGULO et al., 2001).

A geração e o descarte de material de construção civil de maneira desordenada levam a sociedade a clamar por providências das autoridades governamentais e dos responsáveis pela geração de entulho, para que encontrem soluções que dêem tratamento adequado aos materiais descartados pelas construções (OLIVEIRA, 2002).

Se por um lado, não há viabilidade em exigir-se, neste momento, a plena reciclagem dos resíduos captados da construção urbana, não se poderia, por outro lado, aceitar a continuidade dos bota-foras, expressão máxima da indisciplina neste processo. Não se pode ter, no Brasil, no curto prazo, índices elevados de retorno destes materiais ao ciclo produtivo (como na Holanda com 90%, Bélgica com 87% e Dinamarca com 81%) mas pode-se, desde já, adotar-

se práticas que respeitem estes materiais como recursos naturais não renováveis. Para isto servirá a nova figura instituída pela Resolução CONAMA 307, o Aterro de Resíduos da Construção Civil, onde, não havendo um uso urbano futuro designado para a área, necessariamente o material deverá ser reservado, de forma segregada, disponibilizado para recuperação no momento em que houver condições econômicas e políticas adequadas. Havendo reservas de materiais plenamente recicláveis, de boa qualidade, a racionalidade aplicada à gestão ambiental evitará o desmonte de jazidas em ambientes naturais importantes e evitará o transporte de agregados naturais por longas distâncias (PINTO, 2004).

A figura 2 ilustra o local de lançamento de entulho na cidade de Ilha Solteira-SP.



Figura 2 – Vista do local de lançamento de entulho de Ilha Solteira-SP.

3.4.5 Reciclagem

A reciclagem de entulho como material de construção foi iniciada na Europa após a Segunda Guerra Mundial. No Brasil, porém, encontra-se muito atrasada, apesar da escassez de agregados nas regiões metropolitanas, especialmente se comparada com países europeus,

onde a fração reciclada pode atingir cerca de 90%, como é o caso da Holanda, que já discute a certificação do produto.

Quando se analisa uma massa de material descartado pelas obras de construção civil, observa-se que, apesar de sua heterogeneidade, a quase totalidade dos materiais são de alto valor agregado e de boa resistência mecânica, tais como: areias, pedras-britadas, concretos e argamassas endurecidas, tijolos e cacos cerâmicos, madeiras e tantos outros materiais. Todos esses materiais são potenciais matérias-primas. Portanto, os materiais descartados pelas obras de construção civil gerados numa cidade são verdadeiras jazidas de matérias-primas que são passíveis de serem exploradas (OLIVEIRA et al., 2002).

A reciclagem na construção civil pode gerar muitos benefícios, como:

- Redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000);
- Redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem. Destaca-se aqui a necessidade da própria reciclagem dos resíduos de construção e demolição, que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999);
- Diminuição da poluição gerada pelo entulho e de suas conseqüências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos; e
- Preservação das reservas naturais de matérias-primas.

Atualmente existem grupos nas universidades brasileiras estudando o aproveitamento dos resíduos de construção, seja no aspecto de redução de sua geração durante a atividade de construção, das políticas públicas para o manuseio dos resíduos ou, ainda, das tecnologias para a reciclagem. Existem também diversos municípios que já operam com sucesso centrais de reciclagem de RCD (JOHN, 2001).

Em Belo Horizonte, onde após quase oito anos de esforços ininterruptos, multiplicam-se as instalações para captação de pequenos volumes com enorme impacto na qualidade ambiental dos bairros onde são instaladas e consolida-se a experiência de reciclagem dos resíduos. Belo Horizonte recupera, hoje, 15% dos resíduos gerados, e se prepara para avançar para a terceira instalação de reciclagem. São experiências consolidadas que se incorporam à administração rotineira da cidade e se espalham por grande número de municípios que já dão passos rumo à implantação de ações específicas de gestão para estes resíduos (PINTO, 2004).

A tabela 7 apresenta os municípios com ações para gestão de resíduos de construção.

Tabela 7 - Municípios com ações para a gestão de resíduos de construção e resíduos volumosos.

Municípios	Plano de gestão implantado ou em implantação	Áreas de recepção de pequenos volumes	Áreas de transbordo e triagem	Unidades de reciclagem implantadas ou em implantação
Belo Horizonte, MG	Sim	23	1	3
São Paulo, SP	Sim	2	4	2
Salvador, BA	Sim	6		
Maceió, AL		5		
Uberlândia, MG		18		
São J. Rio Preto, SP	Sim	6	2	1
Piracicaba, SP	Sim		1	1
Araraquara, SP		5		
São Carlos, SP		1		1
Ribeirão Preto, SP				1
São J. Campos, SP				1
Guarulhos, SP	Sim	2	3	2
Diadema, SP	Sim	3		
Ribeirão Pires, SP	Sim	3		1
Santo André, SP		8		
Vinhedo, SP				1
Londrina, PR				1
Macaé, RJ				1
Brasília, DF				2
Rio de Janeiro – RJ		35		2
Campinas – SP				1
Socorro – SP				1

Fonte: PINTO (2004).

Recentemente a oportunidade de negócio na operação de centrais de reciclagem de RCD começou a chamar a atenção do setor privado (JOHN, 2001). Segundo Angulo et al. (2001), a reciclagem vai ocorrer apenas se o novo material entrar em escala comercial. Assim, a transferência da tecnologia é uma etapa essencial do processo. O preço do produto é importante, mas não é suficiente. A colaboração entre os diversos atores envolvidos no processo - geradores do resíduo, potenciais consumidores, agências governamentais encarregadas da gestão do ambiente e das instituições de pesquisa envolvidas – torna-se fundamental para o sucesso da reciclagem, e deverá ocorrer preferencialmente desde o momento em que a pesquisa se inicia. Além disso, há a necessidade de convencer os consumidores finais e profissionais que utilizarão ou indicarão os novos produtos. O uso de documentação e certificados que garantam as vantagens do novo produto, bem como a colaboração de universidades e centros de pesquisa, com reputação de excelência no mercado, certamente auxilia no convencimento da qualidade do produto.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

4.1.1 Solo

Foi utilizado o solo arenoso fino de Ilha Solteira-SP, classificação A4 (HRB – Highway Research Board), cujas características geotécnicas se assemelham aquelas dos solos encontrados na região oeste do Estado de São Paulo e também em outras regiões do Centro Sul do Brasil. Observa-se, na figura 3, a área do Estado de São Paulo na qual este tipo de solo ocorre.

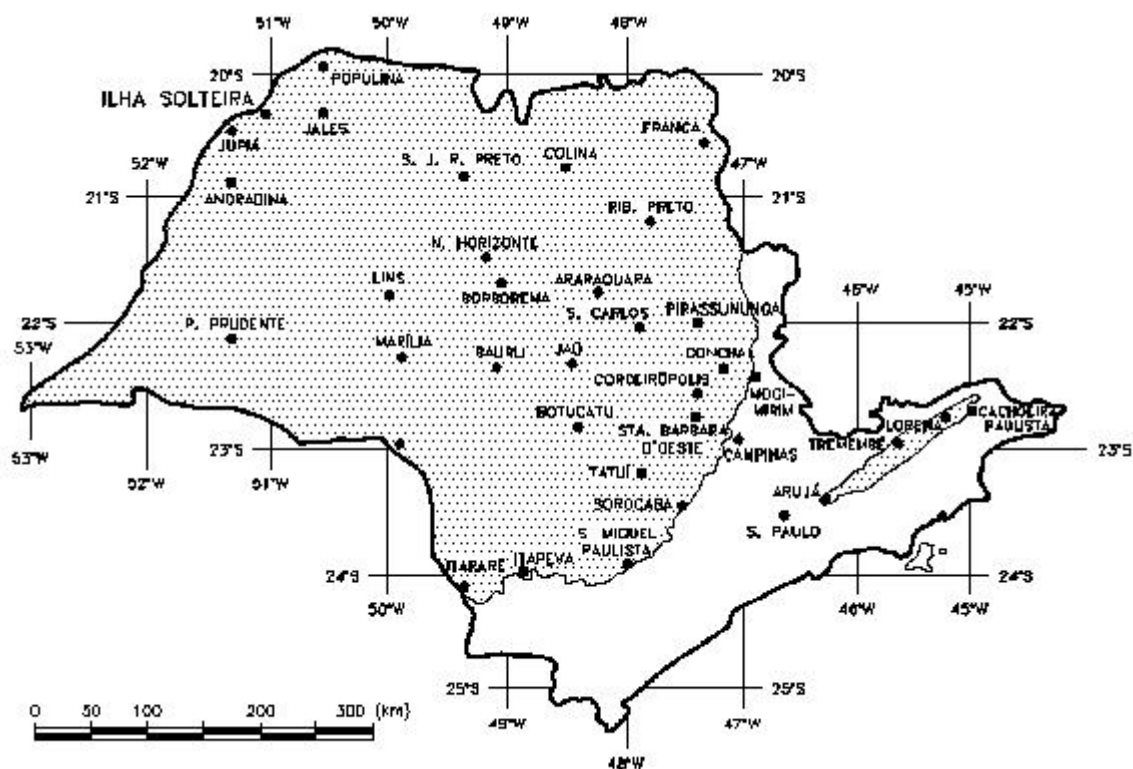


Figura 3 - Área de predominância do solo em estudo.

Fonte: GIACHETTI et al. (1993).

4.1.2 Cimento

Foi utilizado cimento CP II Z-32, NBR 11578 – Cimento Portland composto. Esse tipo de cimento é o normalmente comercializado em Ilha Solteira-SP e suas propriedades são satisfatórias para a confecção do solo-cimento.

4.1.3 Água

Foi utilizada a água potável proveniente da rede pública de abastecimento de Ilha Solteira-SP.

4.1.4 Resíduos de concreto

Os resíduos de concreto foram coletados em caçambas de empresas coletoras de entulho existentes em Ilha Solteira-SP, os quais foram processados em triturador de mandíbulas e passados na peneira de malha 4,8 mm, visando a sua transformação em material granular, de aspecto semelhante a uma areia grossa de construção (figura 4).



Figura 4 – Resíduos de concreto peneirado.

4.1.5 Outros materiais

No assentamento dos tijolos para a confecção dos prismas foi utilizada argamassa industrializada, NBR 14081 – Argamassa colante industrializada. Os corpos-de-prova confeccionados com tijolos e os prismas foram capeados com gesso, NBR 13207 – Gesso para construção civil.

4.2 EQUIPAMENTOS

Na realização desta pesquisa foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Prensa manual, da marca TECMOR, para produzir os tijolos de solo-cimento;
- Prensa hidráulica com capacidade de 2000 kN, da marca EMIC, para efetuar a ruptura dos corpos-de-prova;
- Britador de mandíbulas, da marca BRASFORT, para triturar e preparar os resíduos;
- Soquete e cilindro de Proctor para produzir os corpos-de-prova cilíndricos com $\varnothing = 10$ cm;
- Balança, da marca MARTE, com capacidade máxima de 5 kg $\pm 0,01$ g;
- Balança, da marca TOLEDO, com capacidade máxima de 25 kg ± 5 g;
- Estufa de secagem, da marca FANEM, modelo 315 SE;
- Equipamentos usuais para ensaios de laboratório.

4.3 MÉTODOS

Na composição do solo-cimento, foram estudadas dosagens compostas por solo natural, solo mais 20% de resíduos, solo mais 40% de resíduos e solo mais 60% de resíduos, em relação à massa de solo, empregando-se resíduos de concreto. Para cada uma dessas composições foram utilizados três teores de cimento (6%, 8% e 10%) em relação à massa da mistura solo-resíduo. Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos e corpos-de-prova feitos de tijolos para ruptura aos 07, 28, 56, 120 e 240 dias, e foram confeccionados prismas para ruptura aos 07 e 28 dias. A cura dos corpos-de-prova e dos prismas foi efetuada na câmara úmida do Laboratório de Engenharia Civil da Unesp de Ilha Solteira-SP.

4.3.1 Caracterização do solo, do resíduo e das misturas

A caracterização do solo, do resíduo e das misturas foi realizada em conformidade com as Normas Brasileiras pertinentes, a seguir descritas:

- NBR 6457 - Preparação de amostras de solo e ensaio de caracterização;
- NBR 6459 – Determinação do limite de liquidez;
- NBR 6508 - Determinação da massa específica dos grãos;
- NBR 7180 – Determinação do limite de plasticidade;
- NBR 7181 – Análise granulométrica de solos;
- NBR 7182 – Ensaio de compactação.

As figuras 5, 6, 7, 8 e 9 ilustram a realização de alguns destes ensaios.



Figura 5 – Ensaio de granulometria.



Figura 6 – Sedimentação.

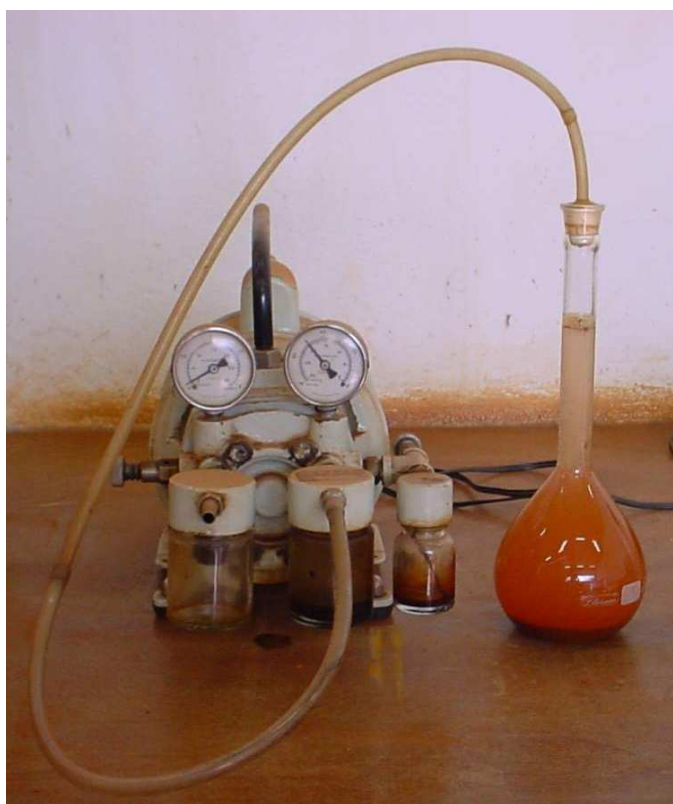


Figura 7 – Determinação da massa específica dos grãos.

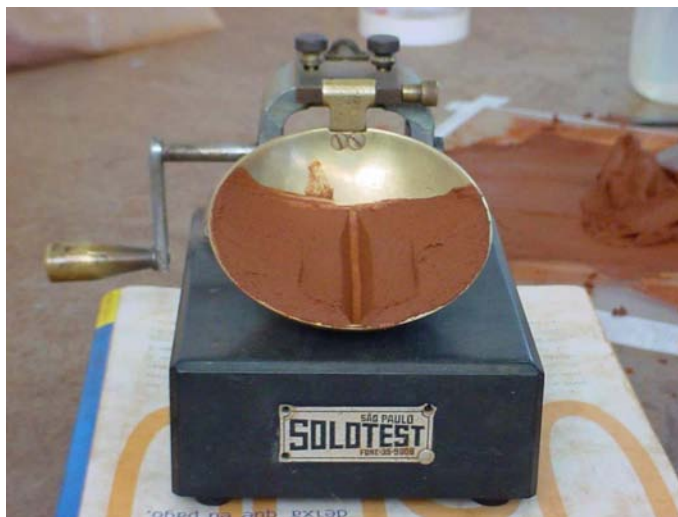


Figura 8 – Determinação do limite de liquidez.

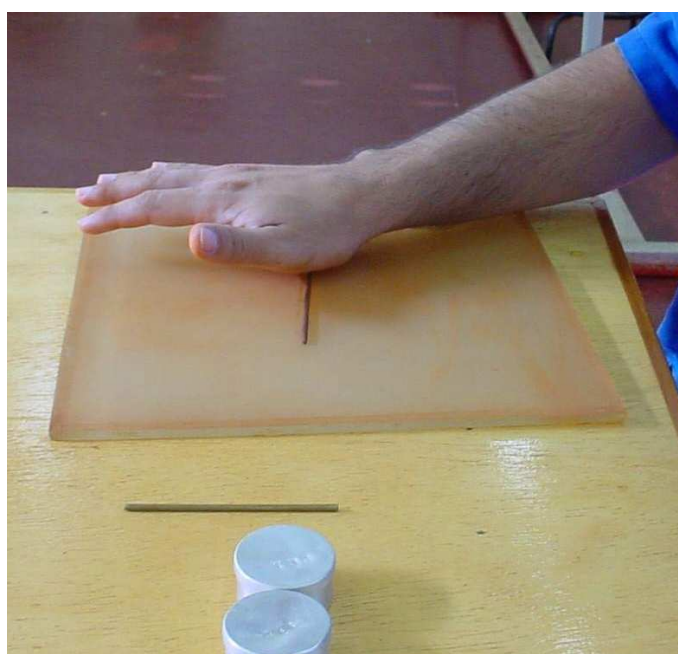


Figura 9 – Determinação do limite de plasticidade.

4.3.2 Retração Linear

Com a finalidade de avaliar a retração linear das composições, realizou-se o ensaio de retração segundo o método sugerido pelo CEPED (1984). Neste ensaio, o solo é umedecido até alcançar uma consistência plástica, semelhante à de uma argamassa de assentamento, e colocado dentro de uma caixa de madeira com 60,0 cm de comprimento, 8,5 cm de largura e 3,5 cm de espessura (figura 10), na qual se aplica previamente uma pintura com óleo mineral. Após colocação do material no interior desta caixa e a realização do adensamento manual, o material fica em repouso à sombra por sete dias, quando então se procede a leitura da retração no sentido do comprimento da caixa. De acordo com o CEPED (1984), para ser viável para a confecção de solo-cimento, a soma da fendas existentes entre as paredes da caixa e a amostra de solo deve ser inferior a 20 mm e a amostra não deve apresentar fenda transversal na parte central da caixa.

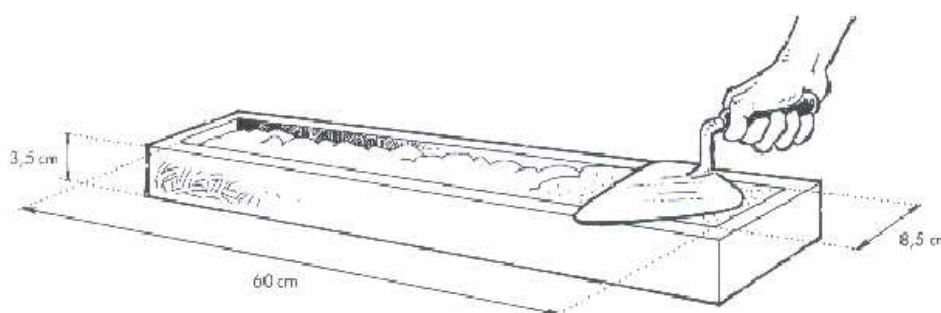


Figura 10 – Dimensões da caixa e colocação do material.

Fonte: CEPED (1984).

4.3.3 Moldagem, cura e ruptura dos corpos-de-prova cilíndricos

Os corpos-de-prova cilíndricos foram moldados no cilindro de Próctor ($\varnothing = 10 \text{ cm}$) e permaneceram, depois de moldados, em câmara úmida até a data da realização dos ensaios de compressão simples, que aconteceu aos 07, 28, 56, 120 e 240 dias, seguindo-se as prescrições das seguintes normas brasileiras:

- NBR 7182 – Ensaio normal de compactação de solo;
- NBR 12024 – Moldagem de corpos-de-prova de solo-cimento;
- NBR 12025 – Ensaio à compressão de corpos-de-prova de solo-cimento.

Os corpos-de-prova cilíndricos foram capeados com cimento (figura 11), fornecendo um melhor acabamento ao topo e a base do mesmo, evitando-se assim superfícies imperfeitas que afetariam a fase de ruptura.



Figura 11 – Corpos-de-prova cilíndricos.

As figuras 12 e 13 ilustram o momento da realização do ensaio de compressão simples.



Figura 12 – Ensaio do corpo-de-prova cilíndrico.



Figura 13 – Ruptura do corpo-de-prova.

4.3.4 Fabricação dos Tijolos

Os tijolos foram produzidos em uma prensa manual, controlando-se a energia de compactação, a massa dos materiais colocados dentro das formas e os teores de cimento e de umidade, de modo a se obter tijolos de acordo com as dosagens estipuladas e com total rigor. Foram confeccionados tijolos, medindo 23,0 cm de comprimento, 11,0 cm de largura e 5,0 cm de altura. Na fabricação dos tijolos observou-se diferenças no grau compactação dos tijolos quando eram produzidos três tijolos por prensagem, então optou-se por produzir um tijolo por prensagem. As etapas da fabricação dos tijolos estão ilustradas nas figuras 14, 15, 16 e 17.



Figura 14 – Lubrificação da prensa.



Figura 15 – Material sendo colocado na prensa.



Figura 16 – Tijolo pronto logo após a prensagem.



Figura 17 – Tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de concreto.

4.3.5 Ensaios de compressão e absorção dos tijolos

Os corpos-de-prova confeccionados de tijolos foram curados e rompidos de acordo com as prescrições da NBR 8491 (Tijolos maciços de solo-cimento) e NBR 8492 (Tijolo de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água).

As rupturas foram realizadas aos 07, 28, 56, 120 e 240 dias de cura. Os tijolos foram curados em câmara úmida, cortados, unidos e capeados antes da ruptura, conforme se observa nas figuras 18, 19 e 20.

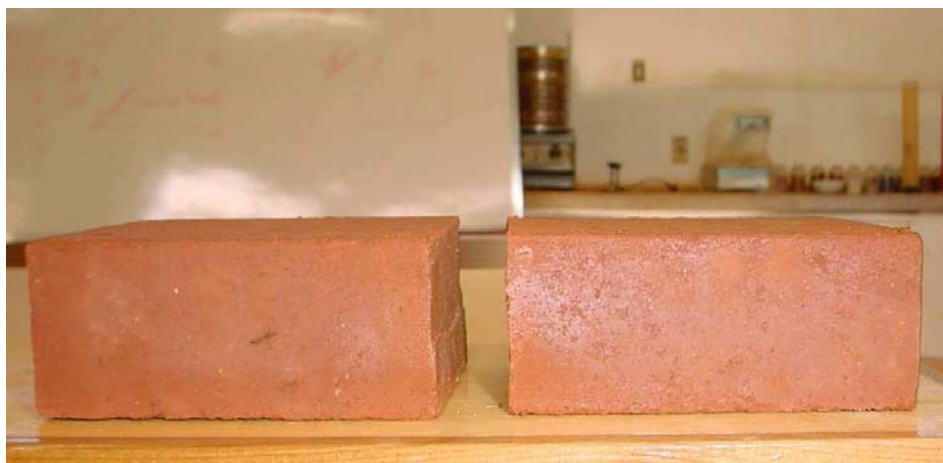


Figura 18 – Tijolo cortado transversalmente ao meio para preparação do corpo-de-prova.



Figura 19 – Assentamento das metades com pasta de cimento Portland.

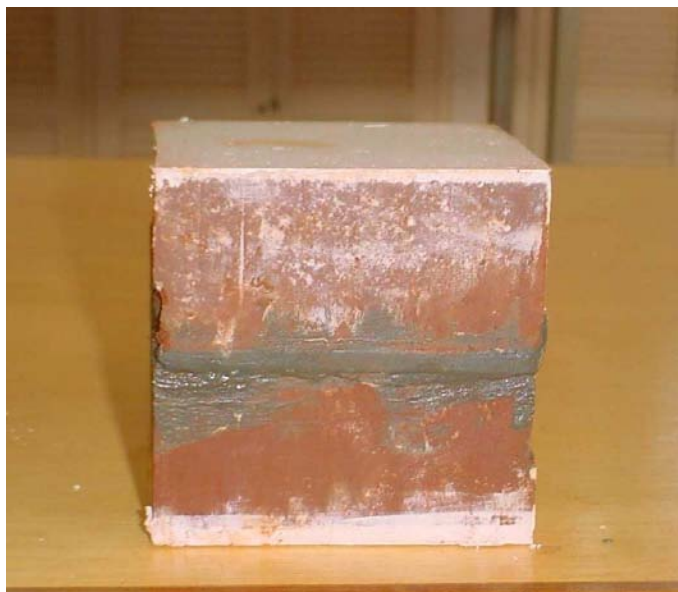


Figura 20 – Capeamento com gesso.

As figuras 21 e 22 mostram o momento da realização do ensaio de compressão simples do corpo-de-prova feito de tijolo.



Figura 21 – Ensaio de compressão do corpo-de-prova feito de tijolo.



Figura 22 – Ruptura do corpo-de-prova feito de tijolo.

4.3.6 Confeção, cura e ruptura dos prismas

Após a realização do ensaio de compressão dos corpos-de-prova foi escolhida uma das dosagens estudadas para se realizar ensaios de compressão de prismas. Pode-se verificar posteriormente que todas as dosagens estudadas forneceram resultados satisfatórios nos ensaios realizados, portanto a dosagem mais adequada para dar continuidade a esse trabalho foi a que utilizou a maior quantidade de resíduo e a menor quantidade de cimento. Assim, a dosagem apropriada para confecção dos prismas foi a do solo com 60% de resíduos de concreto e 6% de cimento.

Foram confeccionados prismas constituídos por 2, 3 e 4 tijolos. Os tijolos foram assentados com argamassa industrializada, confeccionando-se juntas de assentamento com espessura de 10 mm. O gabarito utilizado na confecção dos prismas está ilustrado na figura 23. A base onde foi colocado o tijolo foi previamente nivelada, assim como as hastes onde ele se apoia lateralmente.



Figura 23 – Gabarito utilizado para confecção dos prismas.

As etapas de confecção dos prismas estão ilustradas nas figuras 24, 25, 26, e 27.



Figura 24 – Argamassa de assentamento e gabarito de 10 mm de espessura.



Figura 25 – Assentamento e nivelamento do 2º tijolo.



Figura 26 – Assentamento e nivelamento do 3º tijolo.

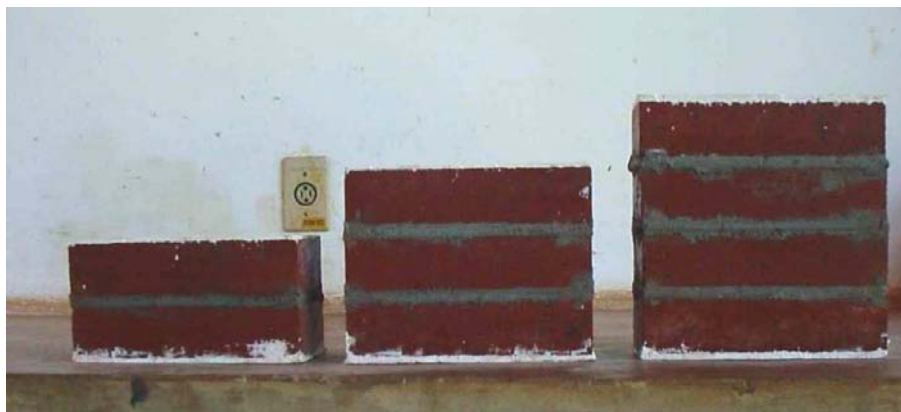


Figura 27 – Prismas constituídos por 2, 3 e 4 tijolos.

A cura dos prismas ocorreu em câmara úmida. Os tijolos foram retirados da câmara úmida 24 horas antes do ensaio de compressão, quando então foram imersos em água. Os ensaios foram realizados aos 07 dias e aos 28 dias.

A figura 28 ilustra o ensaio de compressão do prisma constituído por 2 tijolos. Nas figuras 29, 30 e 31 são mostradas as rupturas dos prismas constituídos por 2, 3 e 4 tijolos.



Figura 28 – Ensaio de compressão do prisma constituído por dois tijolos.



Figura 29 – Ruptura do prisma constituído por 2 tijolos.



Figura 30 – Ruptura do prisma constituído por 3 tijolos.

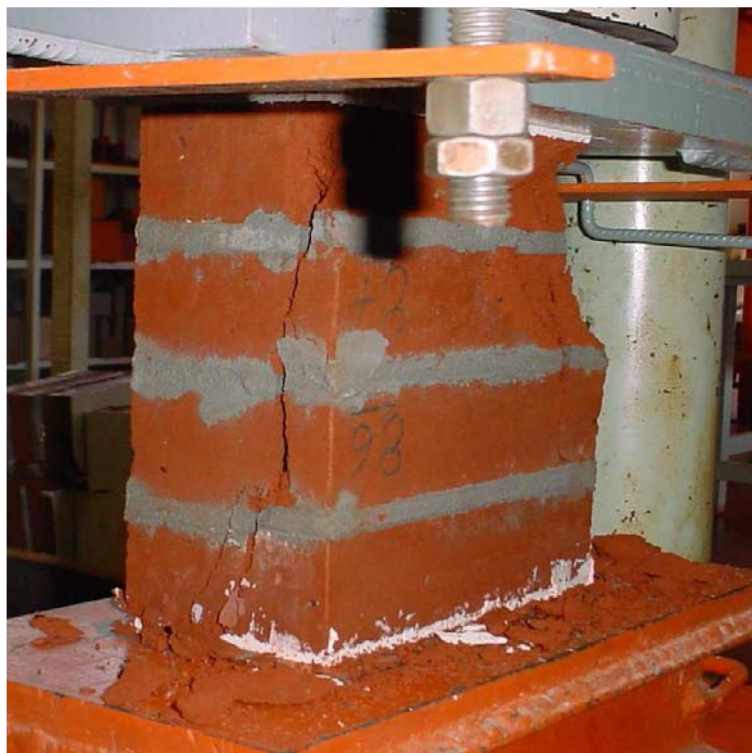


Figura 31 – Ruptura do prisma constituído por 4 tijolos.

5. RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO, DO RESÍDUO E DAS MISTURAS.

5.1.1 Composição granulométrica (NBR 7181)

Apresenta-se na tabela 8 os resultados obtidos no ensaio de análise granulométrica. Nas figuras 32 a 36 são apresentadas as curvas obtidas.

Tabela 8 – Composição granulométrica.

Material	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Média (%)	Areia Grossa (%)
Solo Natural	21,0	18,0	59,0	2,0	0,0
Solo + 20% de resíduo	11,5	12,0	56,4	14,4	5,7
Solo + 40% de resíduo	9,3	10,7	47,8	22,4	9,9
Solo + 60% de resíduo	8,0	8,5	42,7	27,8	12,9
Resíduo de concreto	0	0	8,2	36,4	55,4

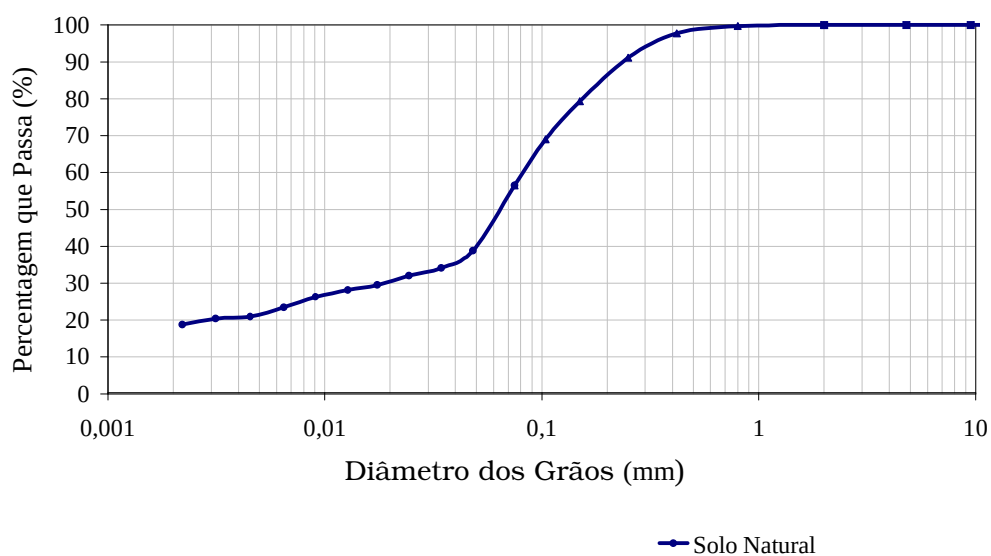


Figura 32 – Curva granulométrica do solo natural.

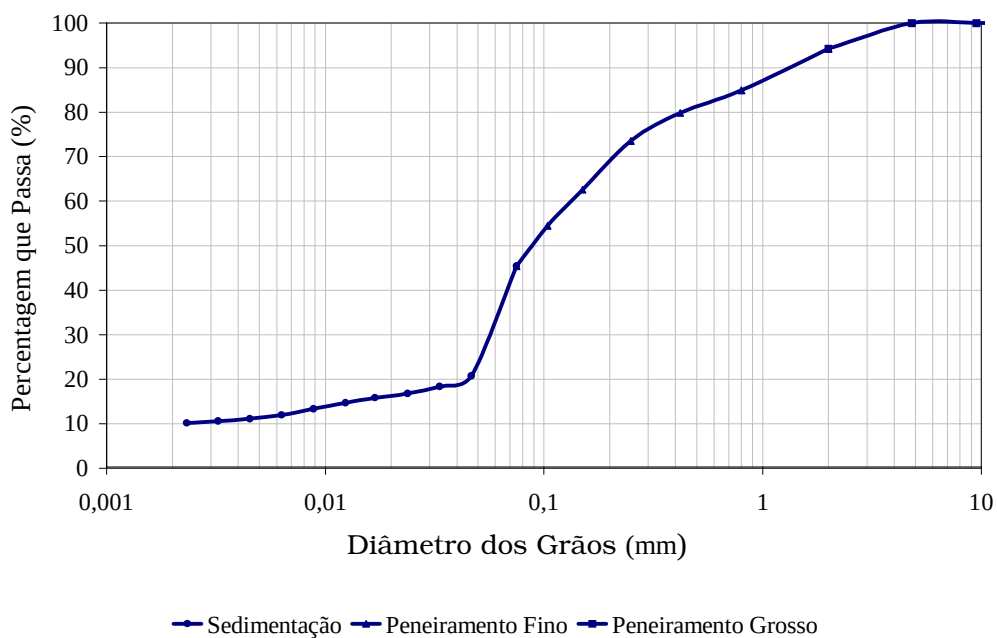


Figura 33 – Curva granulométrica do solo + 20% de resíduo.

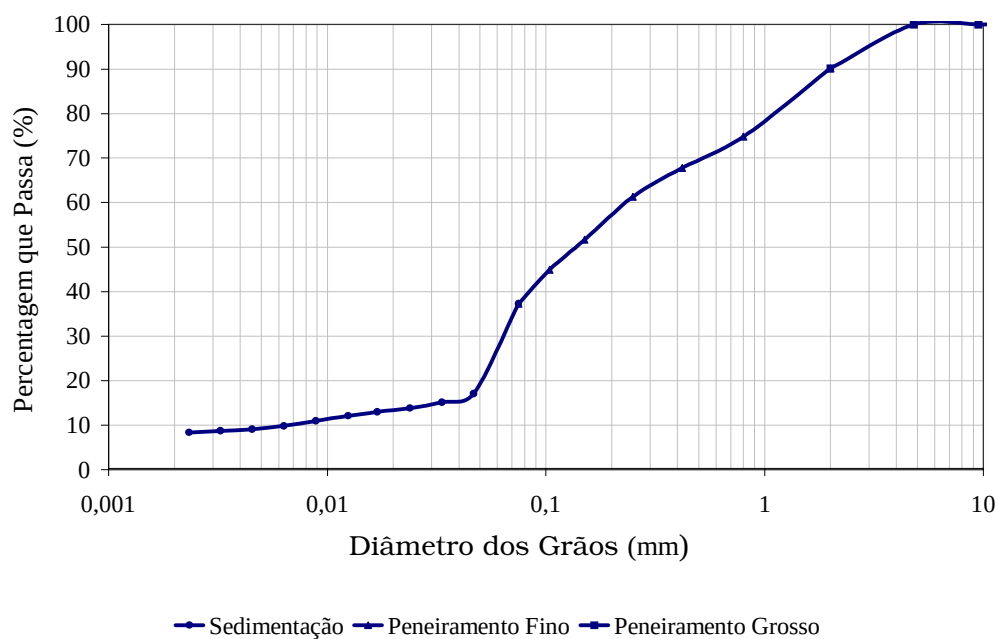


Figura 34 – Curva granulométrica do solo + 40% de resíduo.

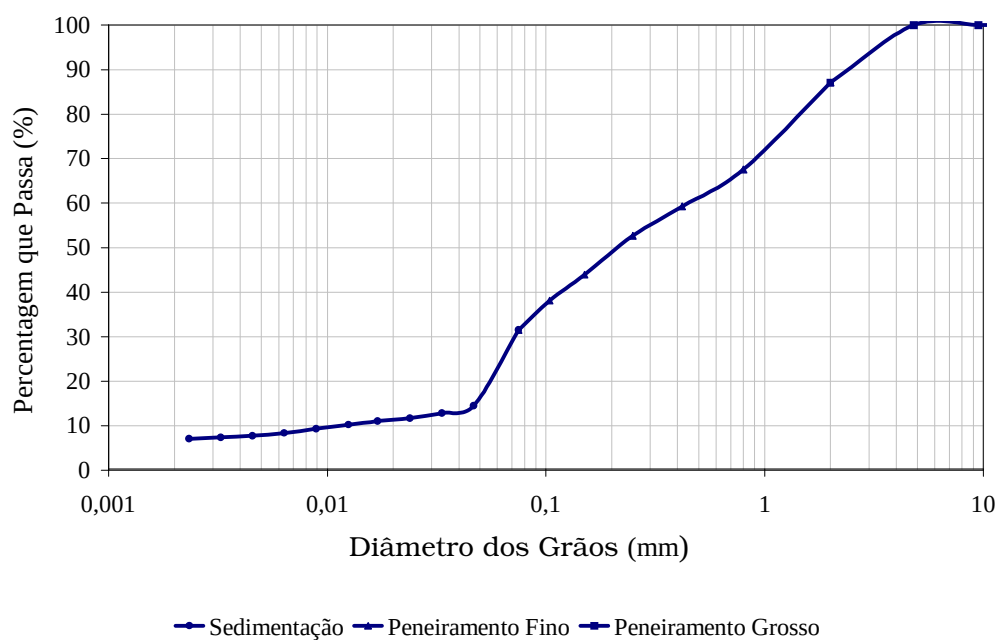


Figura 35 – Curva granulométrica do solo + 60% de resíduo.

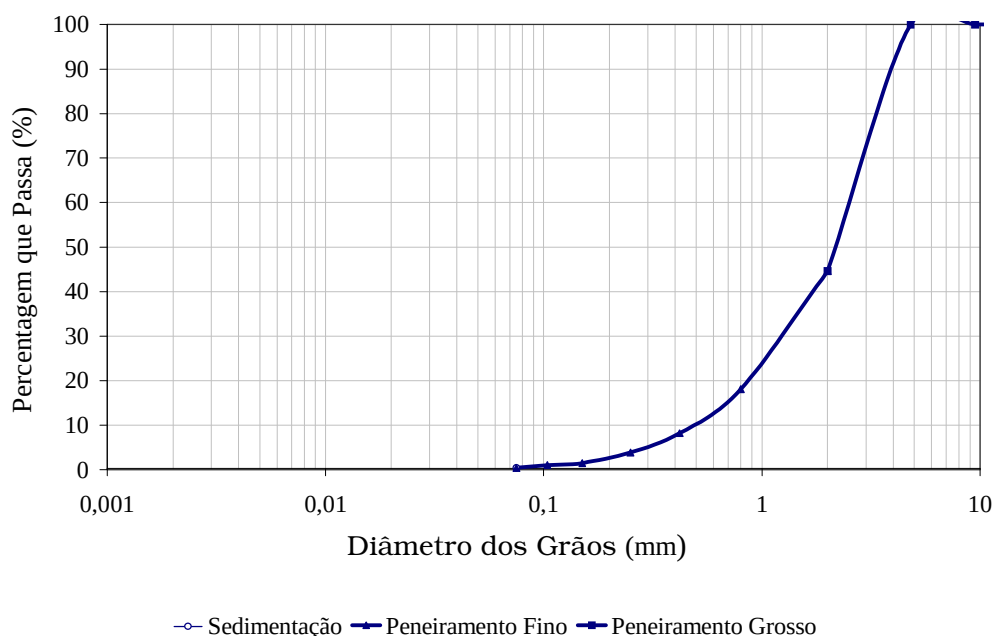


Figura 36 – Curva granulométrica do resíduo.

Foram realizados ensaios para se determinar a composição granulométrica do solo natural e das composições com o resíduo estudado. Observa-se na tabela 8 que a composição das misturas de solo com resíduo de concreto resultou numa distribuição granulométrica bastante próxima daquela considerada ideal para a produção do solo-cimento, segundo a PCA, como mostra a tabela 1. A composição do solo com 20% de resíduo (em relação à massa do solo) resultou na seguinte distribuição: 76,5% de areia e 23,5% da fração silte + argila; a composição do solo com 40% de resíduo resultou na seguinte composição: 80 % de areia e 20% da fração silte + argila; e a composição do solo com 60% de resíduo resultou em: 83,5% de areia e 16,5% da fração silte + argila. Portanto, quanto à distribuição granulométrica, os resultados obtidos foram satisfatórios para a produção de solo-cimento. Nota-se na composição do resíduo concreto (tabela 8), que o mesmo apresenta 8,2% de areia fina, 36,4% de areia média e 55,4% de areia grossa, sendo, portanto, um excelente material para corrigir a granulometria do solo em estudo, de modo a torná-lo mais arenoso e mais propício à confecção do solo-cimento.

5.1.2 Ensaio de compactação

Apresenta-se na tabela 9 os valores dos resultados obtidos no ensaio de compactação. No Anexo 1 são apresentadas as curvas obtidas.

Tabela 9 – Umidade ótima e massa específica aparente seca máxima.

Traço	(W _{ot}) Umidade Ótima (%)	(ρ _d) Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)
Solo Natural	12,7	1,89
Solo + 6% de cimento	13,0	1,87
Solo + 8% de cimento	13,0	1,88
Solo + 10% de cimento	13,0	1,87
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	12,0	1,91
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	12,3	1,90
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	11,8	1,89
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	11,3	1,98
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	11,2	1,94
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	11,8	1,93
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	11,2	1,94
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	11,5	1,94
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	11,4	1,94

Os valores de umidade ótima (tabela 9) apresentaram, em todas as composições analisadas, uma pequena redução em função do incremento dos resíduos. Nas composições com 6% de cimento, obteve-se umidade ótima de 13% para o solo natural, 12% para o solo com 20% de resíduo de concreto, 11,3% para o solo com 40% de resíduo de concreto e 11,2% para o solo com 60% de resíduo de concreto.

É interessante observar que a adição de cimento ao solo normalmente tende a aumentar o valor da umidade ótima da mistura, o que de fato aconteceu para o solo utilizado neste trabalho. Nota-se que para o solo natural o valor obtido de umidade ótima de 12,7% enquanto que para o solo-cimento (sem adição de resíduo) o valor obtido foi de 13%.

Levando-se em consideração que a adição de resíduos diminui o valor da umidade ótima, havendo necessidade de se trabalhar com teores de cimento mais elevados, a adição dos resíduos poderá conduzir a reduções mais significativas no valor da umidade, com reflexos positivos nas outras propriedades, tais como limites de consistência e massa específica, que estão diretamente relacionadas com o teor de umidade e influenciam sobremaneira a qualidade do produto final.

A massa específica aparente seca máxima (tabela 9) aumentou em função do aumento da quantidade de resíduo de concreto e de cimento incorporados ao solo, variando de $1,87 \text{ g/cm}^3$ para $1,94 \text{ g/cm}^3$. Assim, o material apresentou-se mais compacto e isto significa que houve uma melhor acomodação interna dos grãos no processo de compactação. A tendência, portanto, é a de se obter materiais mais resistentes e de menor absorção de umidade.

5.1.3 Massa específica dos sólidos (ρ_s)

Na tabela 10 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios para a determinação da massa específica dos sólidos. Na tabela 11 são apresentados os valores obtidos para os limites de consistência. Nas figuras 37, 38, 39 e 40 são apresentados os gráficos dos limites de liquidez.

Tabela 10 - Massa específica dos sólidos.

Material	ρ_s (g/cm ³)
Solo Natural	2,74
Solo + 20% de resíduo	2,74
Solo + 40% de resíduo	2,73
Solo + 60% de resíduo	2,72
Resíduo de concreto	2,72

5.1.4 Limites de consistência

Tabela 11 – Limites de consistência.

Material	LL	LP	IP
Solo Natural	27,1	18,0	9,1
Solo + 20% de resíduo	21,9	15,8	6,1
Solo + 40% de resíduo	21,6	15,7	5,9
Solo + 60% de resíduo	21,4	15,6	5,8

5.1.5 Limite de liquidez

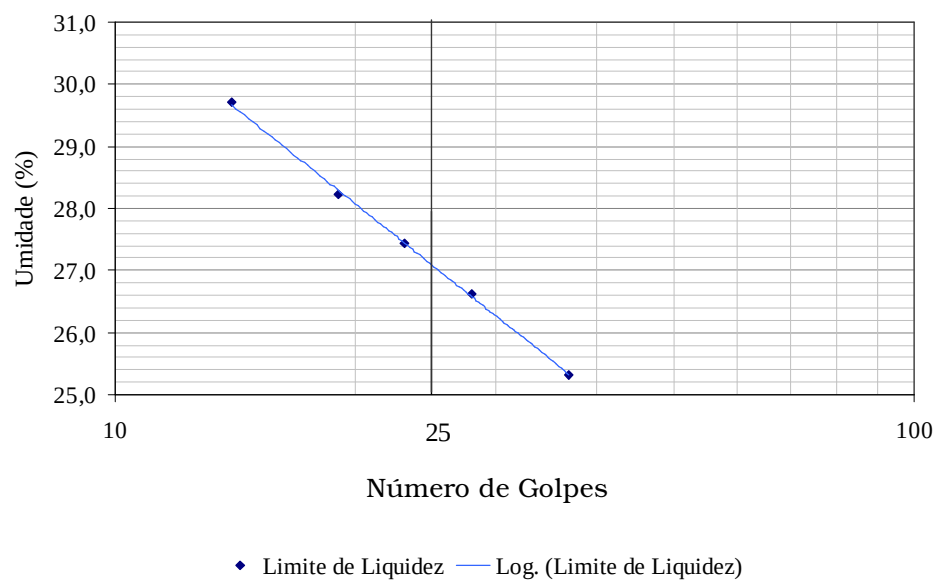


Figura 37 – Limite de liquidez do solo natural.

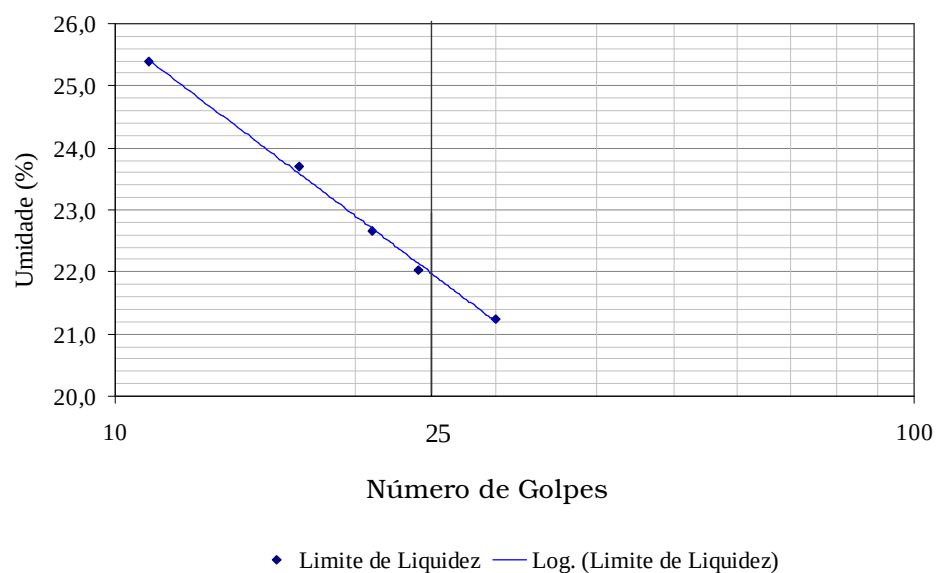


Figura 38 – Limite de liquidez do solo + 20% de resíduo.

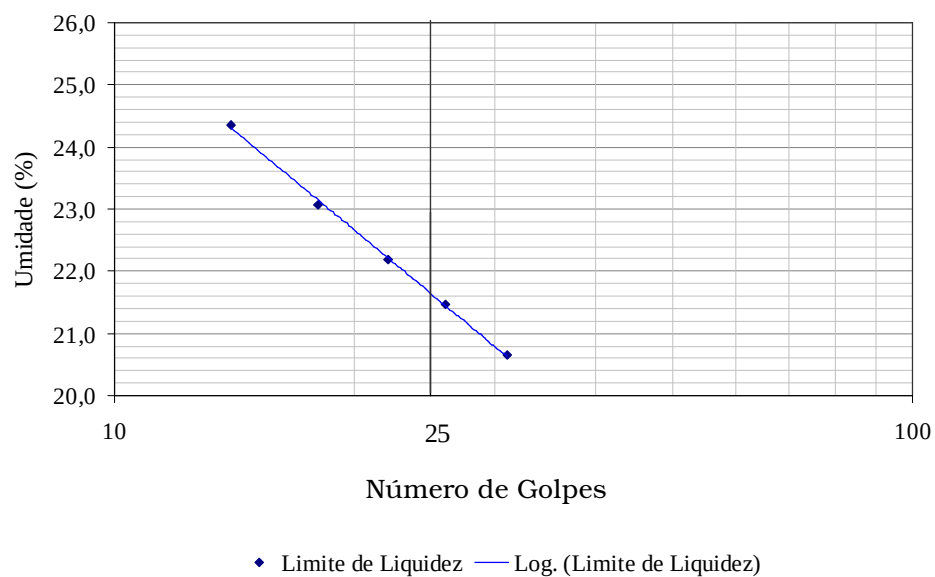


Figura 39 – Limite de liquidez do solo + 40% de resíduo.

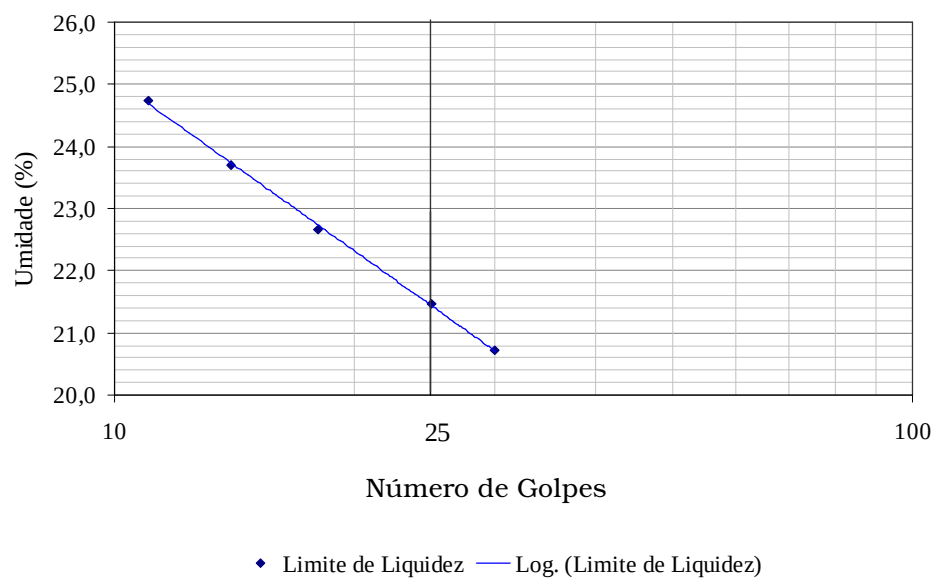


Figura 40 – Limite de liquidez do solo + 60% de resíduo.

Comparando os limites de consistência do solo natural com a mistura de solo mais 60% de resíduo de concreto, nota-se, na tabela 11, que o valor do limite de liquidez diminuiu de 27,1% para 21,4% e o limite de plasticidade diminuiu de 18,0% para 15,6%. Estes resultados poderão ser decisivos para a melhoria da qualidade do produto final, pois o solo considerado adequado para a produção do solo-cimento deve possuir limite de liquidez $\leq 45\%$ e limite de plasticidade $\leq 18\%$.

5.2 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

5.2.1 Classificação segundo a AASHTO

De acordo com a Classificação da AASHTO, o solo em estudo foi classificado como A4, ou seja, uma areia silto-argilosa com comportamento que varia de mau a regular quando utilizado em camadas de pavimento (FERRAZ, 2004).

5.2.2 Classificação MCT

A tabela 12 apresenta os coeficientes necessários para classificação do solo segundo a metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).

Apresenta-se, na figura 41, o gráfico de classificação com a locação do ponto que representa o solo estudado.

Tabela 12 – Classificação geotécnica MCT.

Parâmetro	Solo Estudado
c'	1,46
e'	0,92
Pi (%)	62,72
d'	125,6
Classificação	(LA') – Laterítico Arenoso

Fonte: FERRAZ (2004).

De acordo com Nogami & Villibor (1995), citados por Ferraz (2004), os solos do grupo LA' são tipicamente arenosos, conhecidos pedologicamente no Brasil por latossolos arenosos e solos podzólicos. Quando devidamente compactados, adquire elevada capacidade de suporte, baixa permeabilidade, pequena contração por perda de umidade, razoável coesão e pequena expansibilidade por imersão em água.

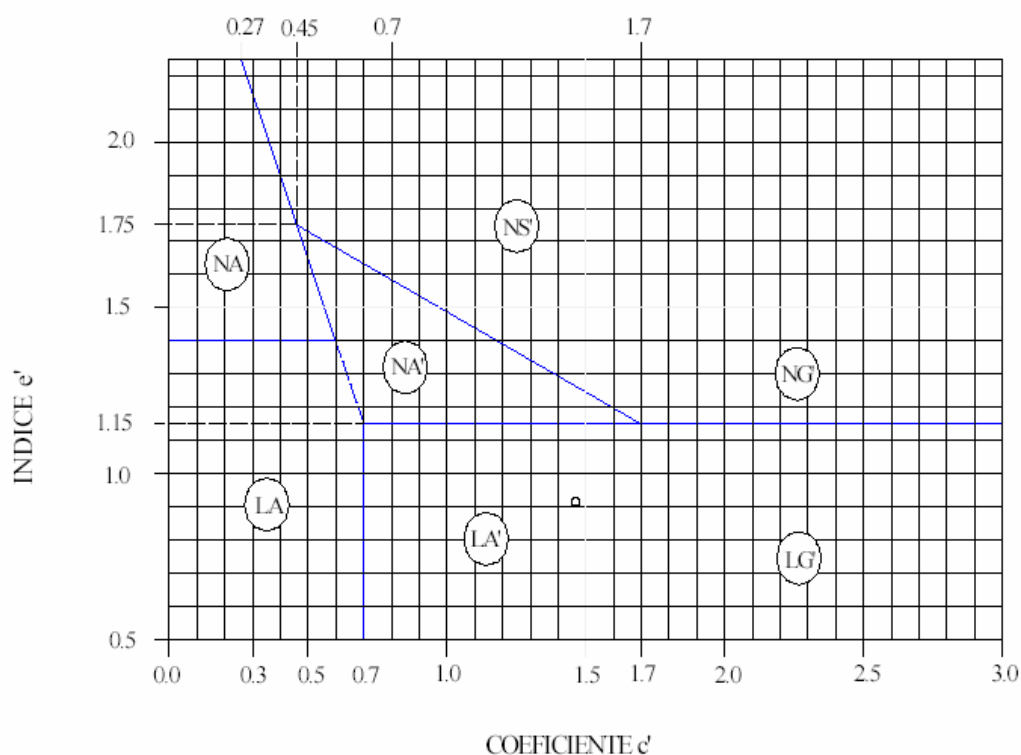


Figura 41 – Gráfico da classificação do solo pelo método MCT.

Fonte: FERRAZ (2004).

5.3 RETRAÇÃO LINEAR

Na tabela 13 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de retração linear.

Tabela 13 – Retração linear.

Traço	Retração Linear (mm)
Solo natural	24
Solo + 20% de resíduo	7,9
Solo + 40% de resíduo	7,0
Solo+ 60% de resíduo	6,7



Figura 42 – Retração linear do solo.

O ensaio de retração realizado com o solo natural, sem adição de resíduo, apresentou uma fenda na parte central da amostra (figura 42) e a retração total foi de 24 mm, acima do limite recomendado pelo CEPED (1984), que é de 20 mm. Desta forma, o solo natural utilizado neste trabalho não seria apropriado para a confecção do solo-cimento. Nota-se, porém, que com a adição do resíduo houve uma diminuição considerável nos valores de retração e não houve surgimento, em nenhuma das amostras, de fendas na parte central, significando, portanto, haver uma forte tendência de redução da retração por secagem em virtude da incorporação dos resíduos.

5.4 GRAU DE COMPACTAÇÃO

5.4.1 Corpos-de-prova cilíndricos

Apresenta-se na tabela 14 os valores obtidos para o grau de compactação dos corpos-de-prova cilíndricos moldados no cilindro de *Proctor* visando a realização dos ensaios de compressão.

Tabela 14 – Grau de compactação dos corpos-de-prova cilíndricos.

Traço	GC - Grau de Compactação (%)				
	07 dias	28 dias	56 dias	120 dias	240 dias
Solo + 6% de cimento	99,5	99,2	99,2	99,3	99,5
Solo + 8% de cimento	99,1	99,5	99,0	99,2	99,6
Solo + 10% de cimento	99,0	98,9	98,9	99,3	99,1
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	98,8	99,6	98,0	99,7	99,4
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	99,8	99,7	98,8	99,8	99,2
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	99,9	99,9	99,5	99,7	99,1
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	99,9	99,9	99,5	99,3	99,5
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	98,8	99,2	98,4	99,2	99,5
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	99,8	99,9	98,0	99,1	99,0
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	99,9	99,2	98,6	99,4	99,8
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	99,7	99,2	98,7	99,3	99,8
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	99,2	99,0	98,5	99,5	99,4

5.4.2 Corpos-de-prova feitos de tijolos

Apresenta-se na tabela 15 o grau de compactação dos corpos-de-prova confeccionados com os tijolos, moldados na prensa manual, visando a realização do ensaio de compressão e absorção.

Tabela 15 – Grau de compactação dos corpos-de-prova feitos de tijolos.

Traço	GC - Grau de Compactação (%)				
	07 dias	28 dias	56 dias	120 dias	240 dias
Solo + 6% de cimento	94,4	94,6	94,5	94,5	94,6
Solo + 8% de cimento	94,6	94,6	94,6	94,6	94,7
Solo + 10% de cimento	94,6	94,5	94,8	94,4	94,8
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	94,7	94,6	94,8	94,7	94,6
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	94,8	94,7	94,6	94,8	94,5
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	94,6	94,6	94,6	94,6	94,7
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	94,8	94,8	94,6	94,7	94,7
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	94,9	94,7	94,8	94,5	94,8
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	94,7	94,6	94,6	94,8	94,6
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	94,7	94,8	94,8	94,7	94,6
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	94,9	94,9	94,7	94,6	94,8
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	94,8	94,6	94,9	94,8	94,7

Os valores de grau de compactação dos corpos-de-prova cilíndricos (tabela 14) ficaram um pouco abaixo de 100%, devido a uma pequena variação na umidade ótima de moldagem. Nos tijolos, a quantidade de material colocado na prensa foi calculada para se obter um grau de compactação em torno 95%. Este procedimento foi adotado visando facilitar a prensagem dos tijolos, pois com 100% de compactação torna-se praticamente impossível, para uma única pessoa, trabalhar todo o curso da alavanca na operação de fabricação dos tijolos na máquina manual. Observa-se, na tabela 15, que os valores de grau de compactação obtidos para os tijolos se aproximam dos 95%. Esta pequena imprecisão deve-se, provavelmente, a perdas de massa no processo e a pequenas variações na umidade ótima de moldagem dos tijolos. Isto, porém, não compromete a qualidade dos tijolos, e é suficiente para sua desmoldagem, manipulação e estocagem.

5.5 Absorção dos tijolos

Na tabela 16 são apresentados os valores obtidos no ensaio de absorção dos tijolos. O ensaio foi realizado de acordo com a NBR-8492 sendo os tijolos secos em estufa até a constância de massa e pesados. Em seguida, foram imersos por 24 horas em água, de onde foram retirados para nova pesagem e para o cálculo dos respectivos valores de absorção.

Tabela 16 – Absorção dos tijolos.

Traço	Absorção (%)
Solo + 6% de cimento	17,5
Solo + 8% de cimento	17,2
Solo + 10% de cimento	17,0
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	14,7
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	14,5
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	14,3
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	14,1
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	13,5
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	13,3
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	12,8
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	12,6
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	12,5

Neste ensaio verificou-se que todos os traços atenderam a NBR-8492, já que a norma especifica um valor de absorção máxima de 20%. Nota-se na tabela 16 decréscimos consideráveis nos valores de absorção conforme se adiciona maiores quantidades de resíduo.

5.6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

5.6.1 Resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos

Apresentam-se, na tabela 17, os resultados obtidos no ensaio de compressão, realizado com os corpos-de-prova cilíndricos.

Tabela 17 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos.

Traço	Resistência Média (MPa)				
	07 dias	28 dias	56 dias	120 dias	240 dias
Solo + 6% de cimento	2,84	3,52	4,15	4,80	5,68
Solo + 8% de cimento	3,25	4,73	5,17	6,26	7,51
Solo + 10% de cimento	3,45	5,42	6,00	7,27	8,98
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	3,08	4,52	5,24	5,52	6,32
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	3,37	5,22	5,73	6,66	7,70
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	3,93	5,62	6,56	7,43	9,74
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	3,50	4,77	5,47	5,77	8,02
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	3,71	5,39	5,98	7,00	9,42
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	4,07	6,24	6,88	8,06	10,82
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	3,50	4,69	5,41	5,84	7,96
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	3,69	5,35	5,92	6,98	9,29
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	4,03	6,18	6,77	8,04	11,33

Nas figuras 43 a 47 são apresentados os gráficos de resistência média à compressão em função da quantidade de resíduo das misturas. As figuras 48 a 51 mostram os gráficos de resistência média à compressão em função da idade e a figura 52 as curvas de evolução da resistência à compressão dos corpos-de-prova.

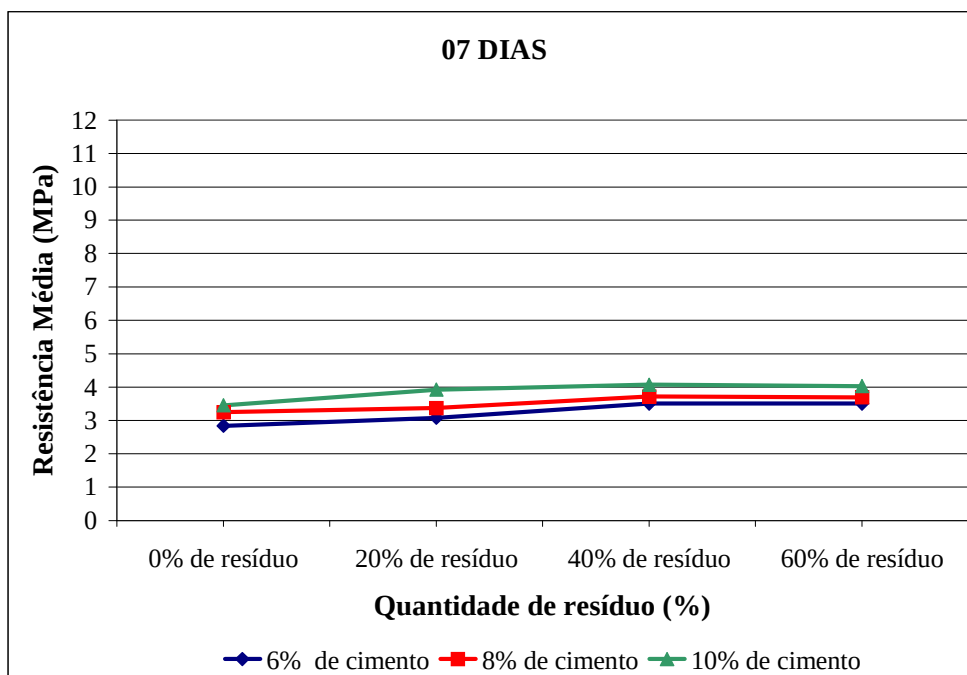


Figura 43 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova aos 07 dias.

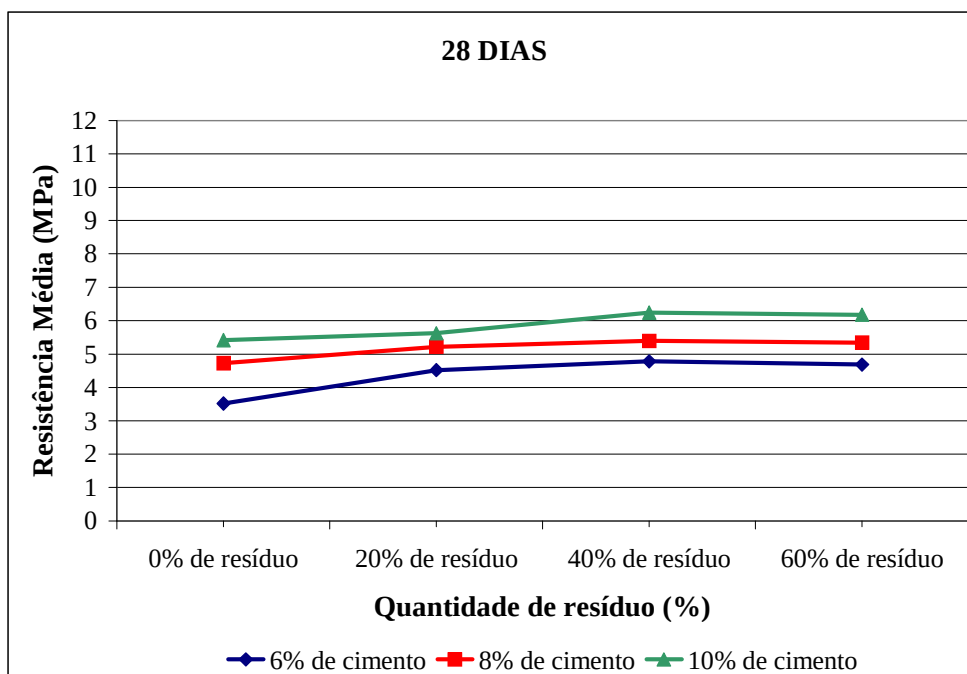


Figura 44 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova aos 28 dias.

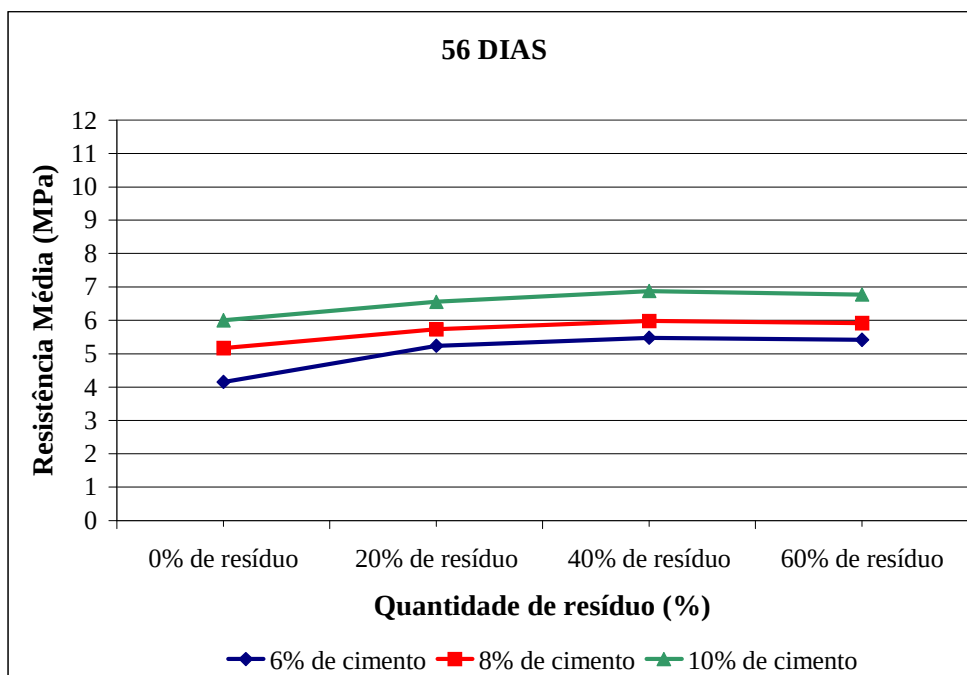


Figura 45 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova aos 56 dias.

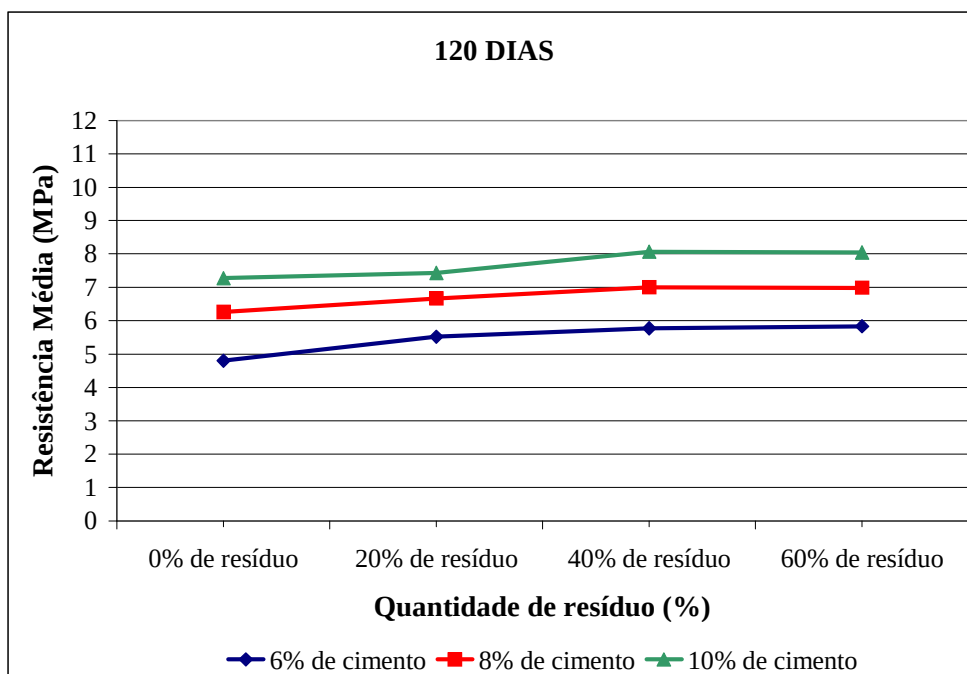


Figura 46 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova aos 120 dias.

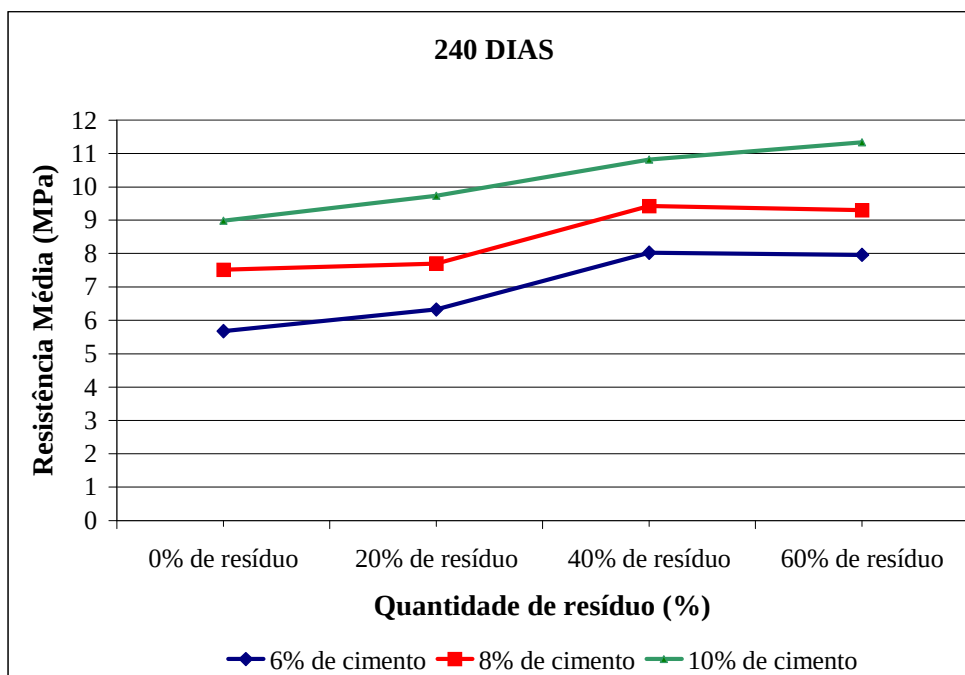


Figura 47 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova aos 240 dias.

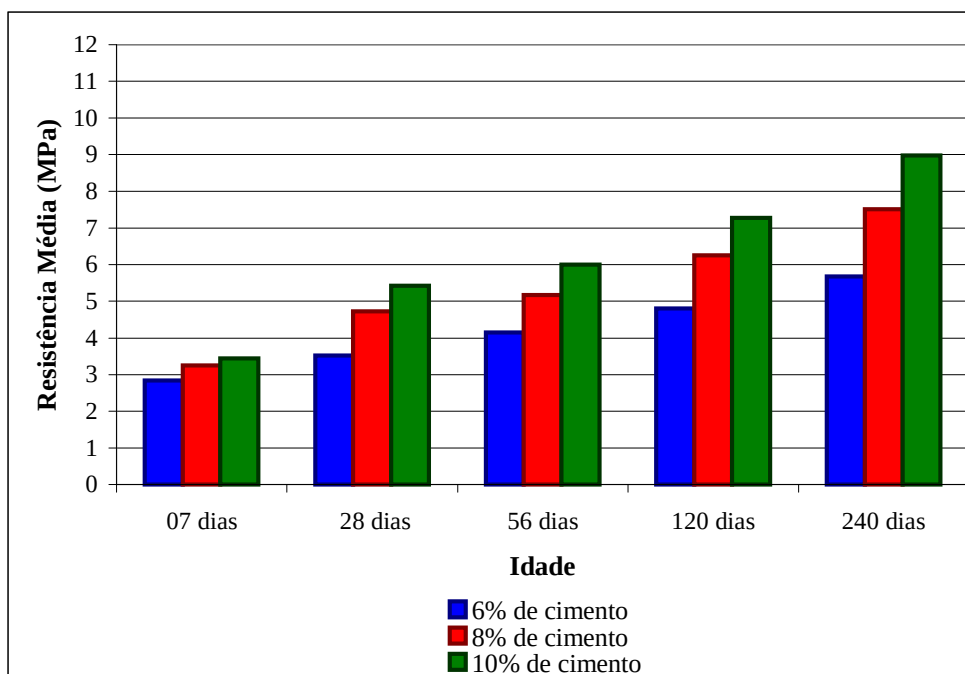


Figura 48 - Resistência à compressão dos corpos-de-prova sem resíduo.

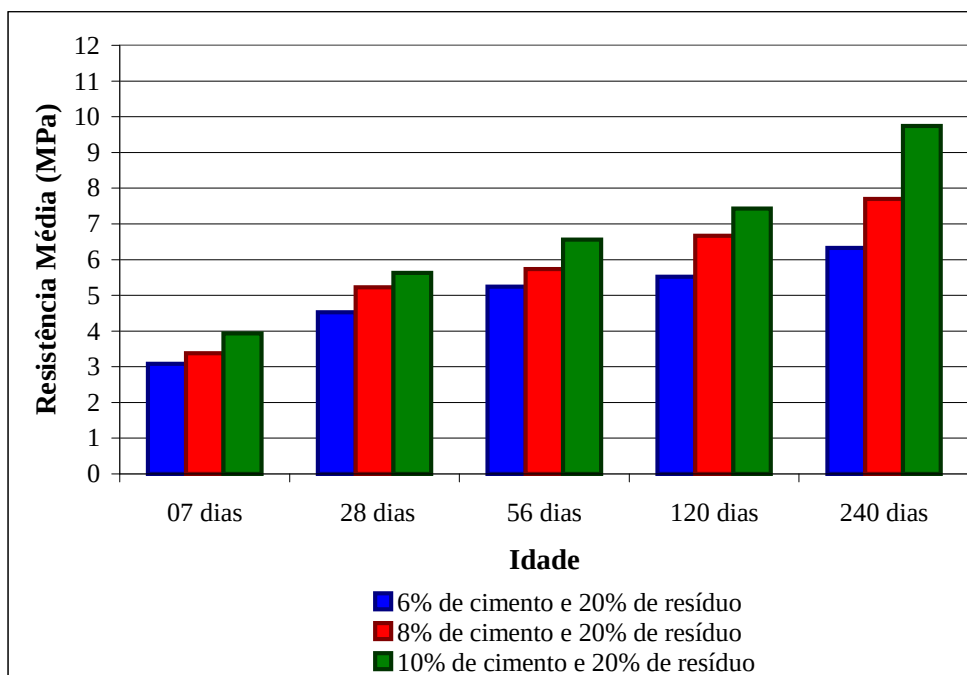


Figura 49 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova com 20% de resíduo.

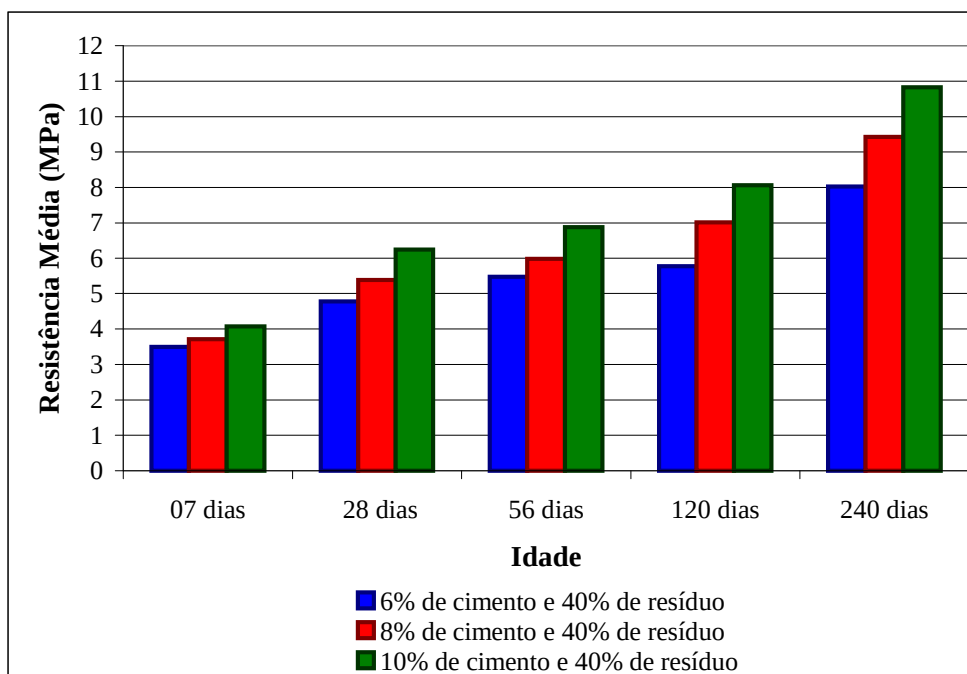


Figura 50 - Resistência à compressão dos corpos-de-prova com 40% de resíduo.

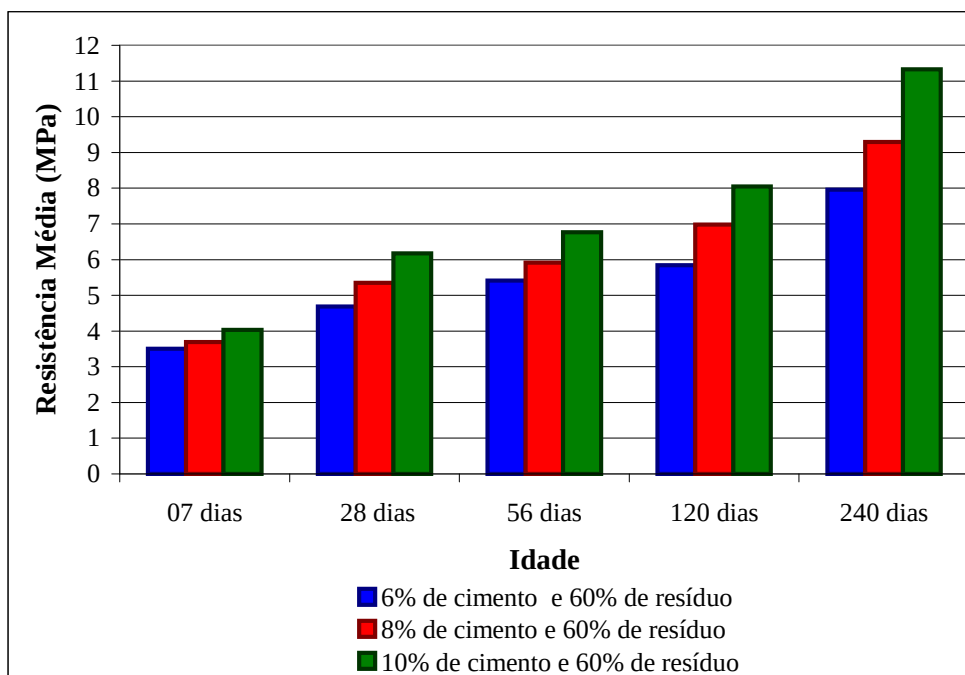


Figura 51 - Resistência à compressão dos corpos-de-prova com 60% de resíduo.

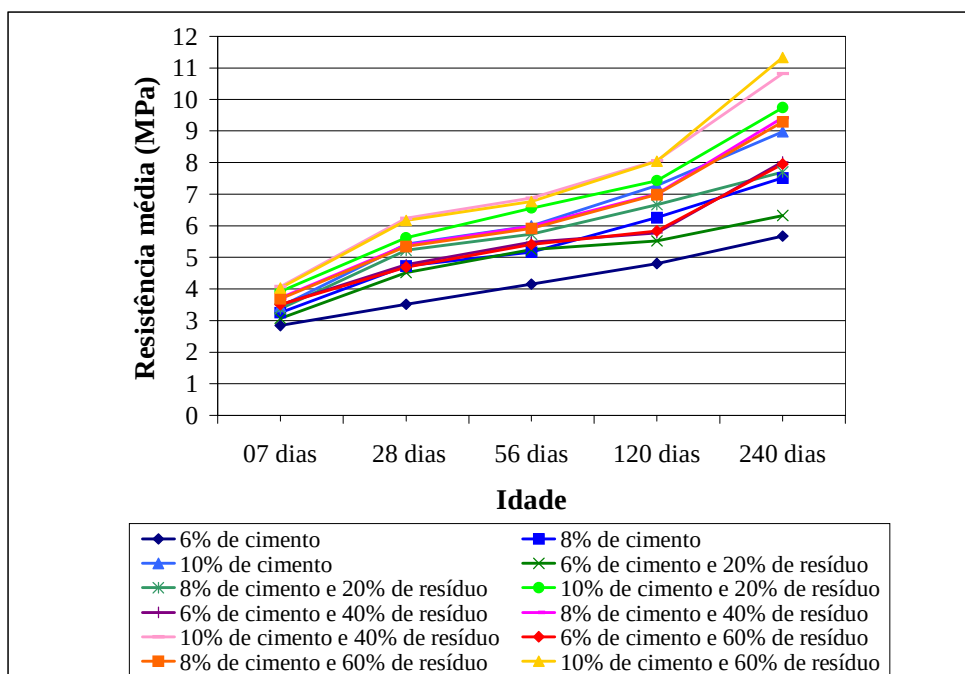


Figura 52 – Evolução da resistência dos corpos-de-prova.

5.6.2 Resistência à compressão dos tijolos

Na tabela 18 são apresentados os valores médios de resistência à compressão dos corpos-de-prova feitos de tijolos aos 07 dias e o menor valor individual de cada traço.

Tabela 18 – Resistência média à compressão dos tijolos aos 07 dias.

Traço	Resistência média (MPa)	Menor valor individual (MPa)
Solo + 6% de cimento	1,60	1,00
Solo + 8% de cimento	2,31	1,58
Solo + 10% de cimento	2,69	2,01
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	2,50	2,21
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	2,89	2,77
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	3,21	2,85
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	2,78	2,45
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	3,03	2,96
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	3,74	3,60
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	2,78	2,61
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	3,08	3,04
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	3,86	3,75

Os valores de resistência média à compressão simples dos dois primeiros traços (solo + 6% de cimento e solo + 8% de cimento), conforme se observa na tabela 18, não atenderam às prescrições da NBR 8492. Esta norma prescreve um valor médio maior ou igual a 2,0 MPa aos sete dias e que no cálculo da média, apenas um dos valores individuais pode apresentar resistência inferior a 2,0 MPa, desde que seja igual ou superior a 1,7 MPa. Observa-se ainda na tabela 18, que todos os corpos-de-prova com adição de resíduos atenderam aos requisitos

mínimos das normas brasileiras, mostrando ainda, a ocorrência de aumentos consideráveis nos valores de resistência à compressão simples com o aumento no teor de resíduo de concreto.

Apresentam-se, na tabela 19, os resultados obtidos nos ensaios de compressão realizados com corpos-de-prova feitos a partir dos tijolos.

Tabela 19 – Resistência média à compressão dos corpos-de-prova feitos de tijolos.

Traço	Resistência Média (MPa)				
	07 dias	28 dias	56 dias	120 dias	240 dias
Solo + 6% de cimento	1,60	3,40	4,11	4,70	4,84
Solo + 8% de cimento	2,31	4,20	5,03	6,63	6,80
Solo + 10% de cimento	2,69	5,57	7,30	7,71	7,96
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	2,50	3,74	4,15	5,02	5,49
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	2,89	4,74	5,34	7,21	7,35
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	3,21	5,93	7,43	8,26	8,62
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	2,78	4,39	4,94	5,81	6,03
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	3,03	5,18	6,23	8,14	8,22
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	3,74	6,86	8,12	9,31	9,93
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	2,78	4,64	4,94	5,73	6,07
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	3,08	5,09	6,44	8,02	8,23
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	3,86	6,96	7,97	9,80	9,93

As figuras 53 a 57 apresentam os gráficos de resistência média em compressão em função da quantidade de resíduo das misturas. As figuras 58 a 61 mostram os gráficos de resistência média em compressão em função da idade e a figura 62 mostra a evolução da resistência em compressão dos corpos-de-prova.

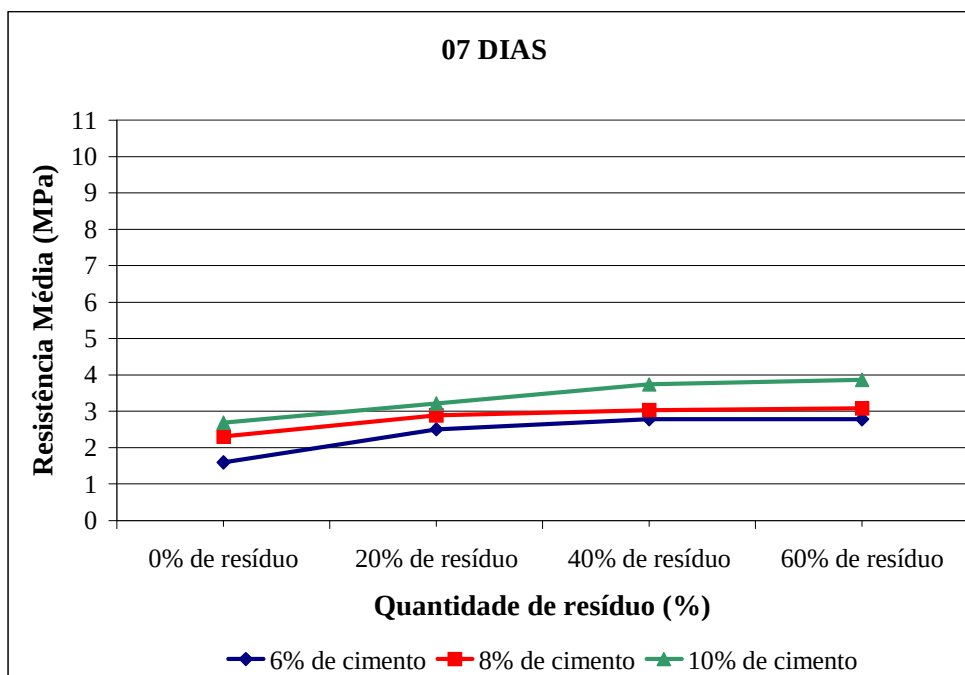


Figura 53 – Resistência à compressão dos tijolos aos 07 dias.

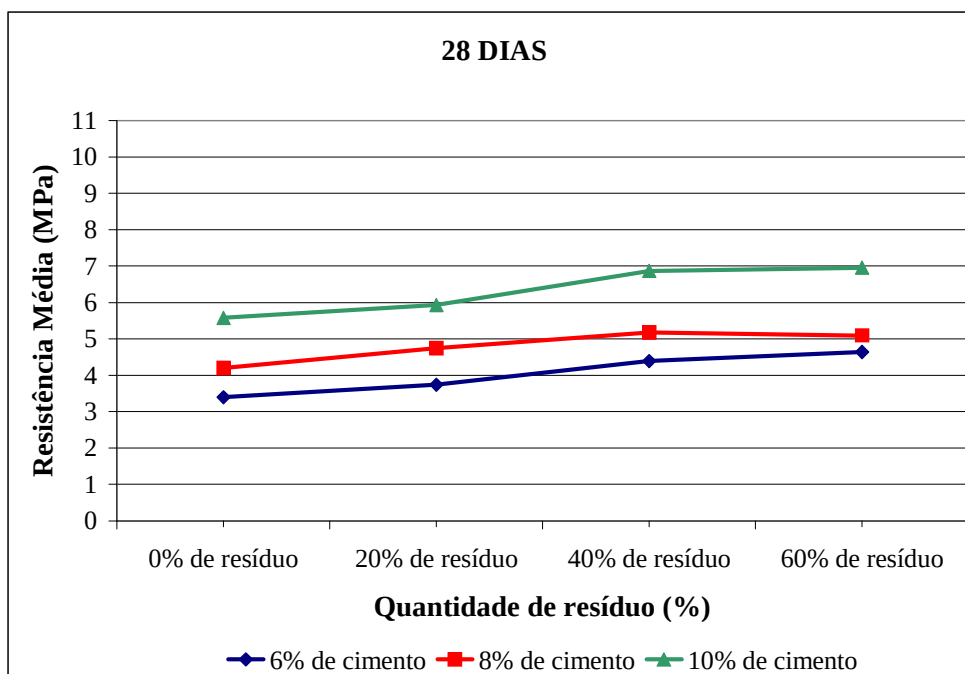


Figura 54 – Resistência à compressão dos tijolos aos 28 dias.

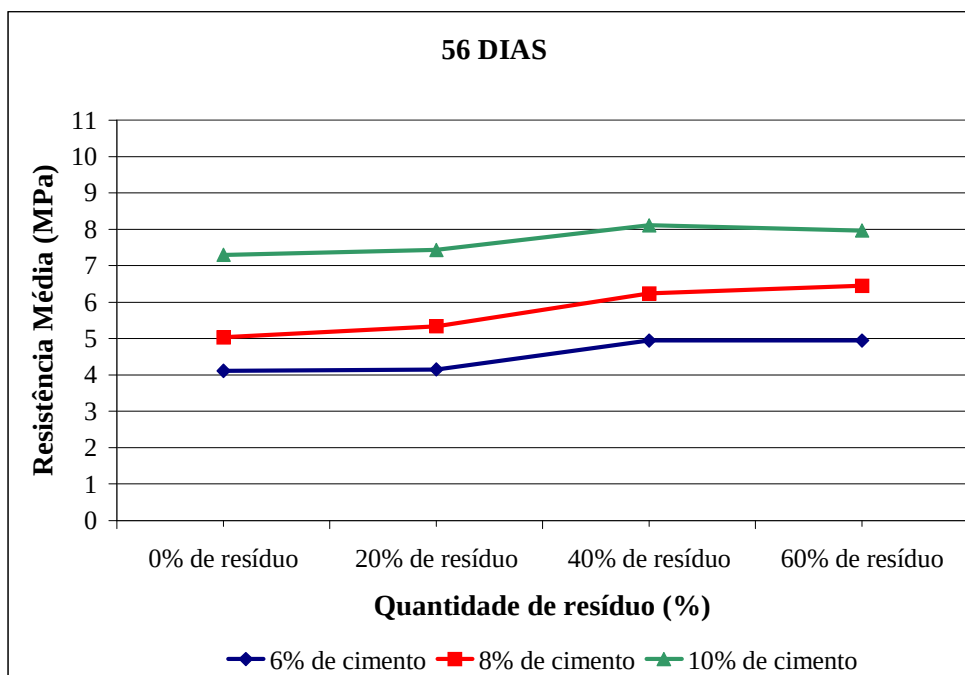


Figura 55 – Resistência à compressão dos tijolos aos 56 dias.

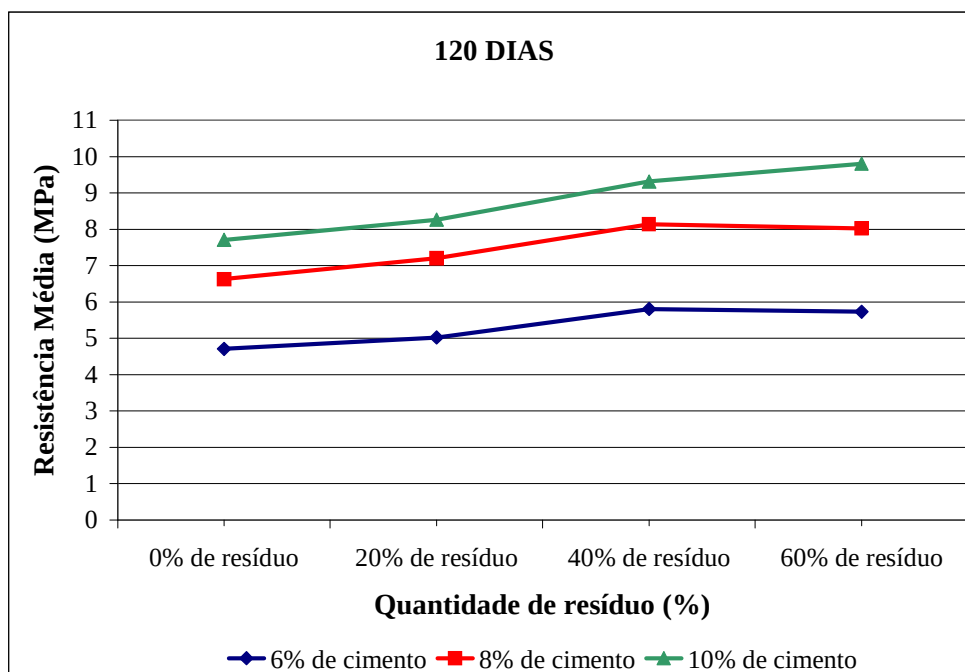


Figura 56 – Resistência à compressão dos tijolos aos 120 dias.

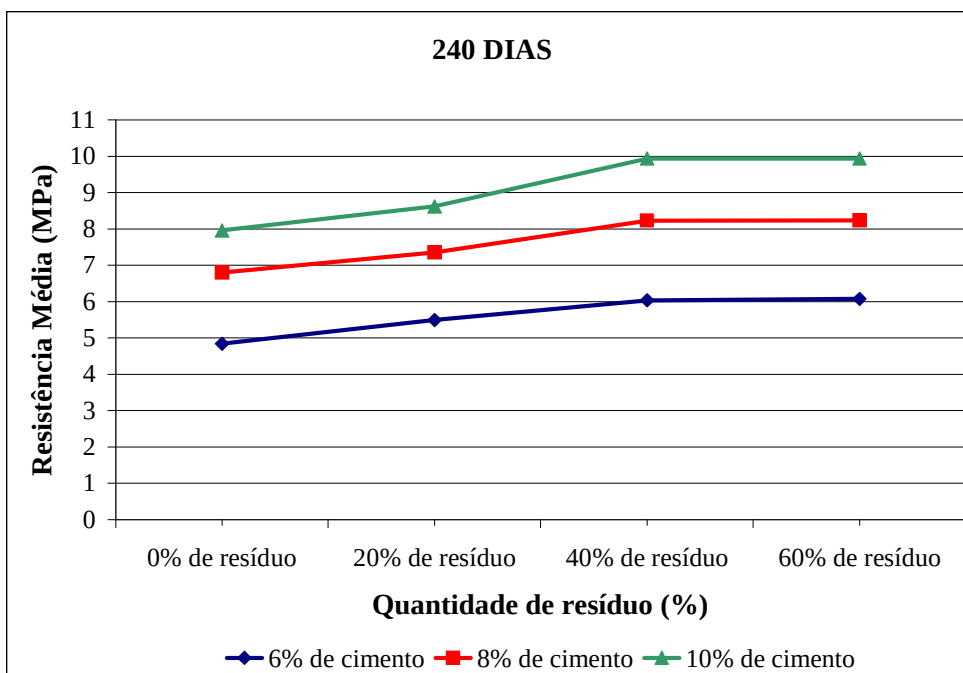


Figura 57 – Resistência à compressão dos tijolos aos 240 dias.

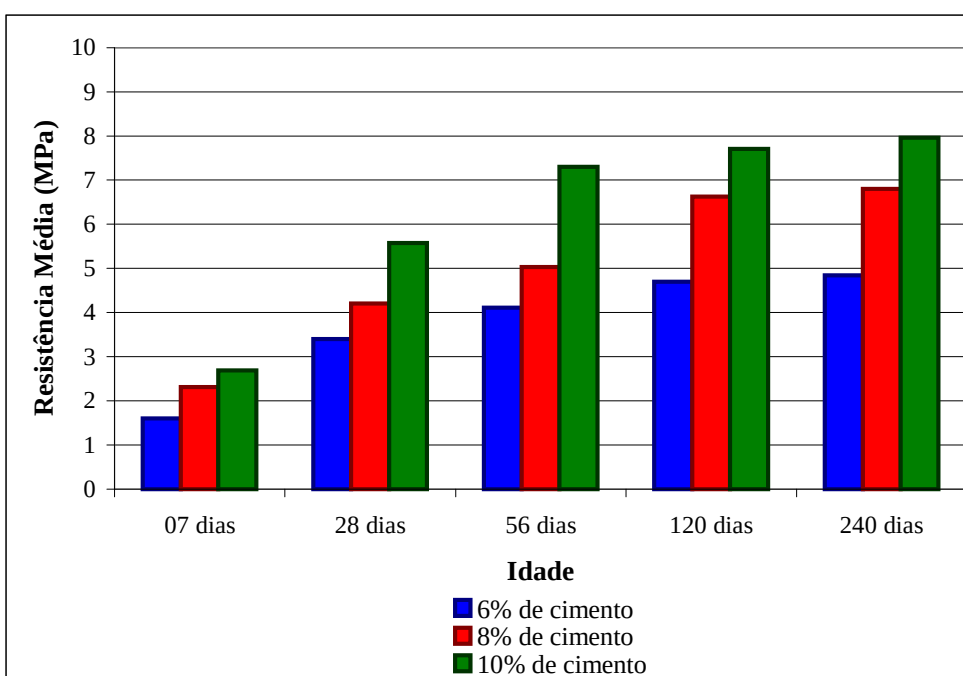


Figura 58 – Resistência à compressão dos tijolos sem resíduo.

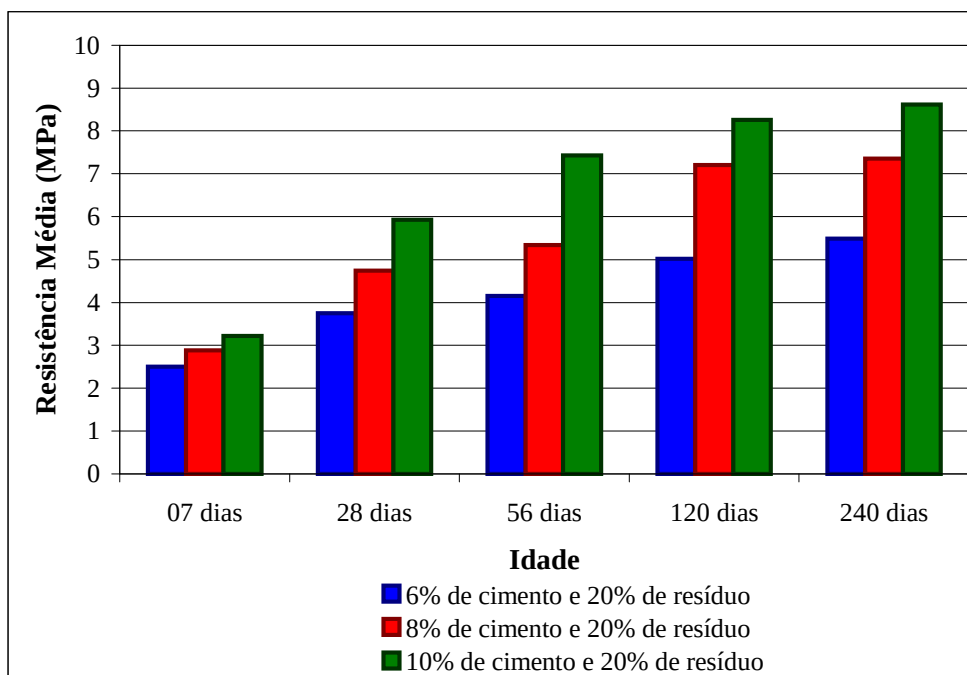


Figura 59 – Resistência à compressão dos tijolos com 20% de resíduo.

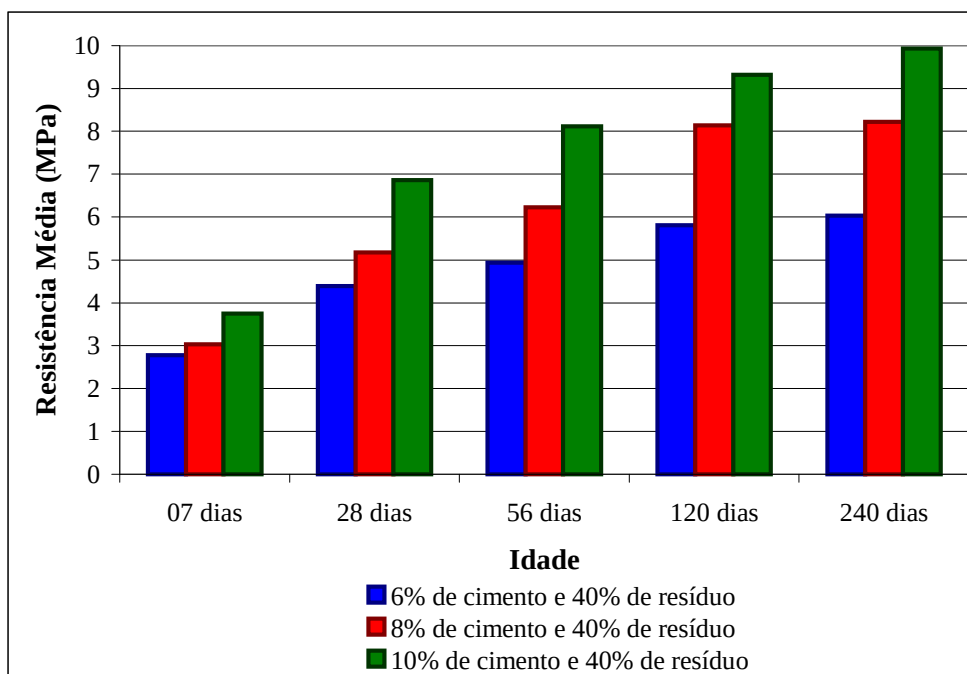


Figura 60 – Resistência à compressão dos tijolos com 40% de resíduo.

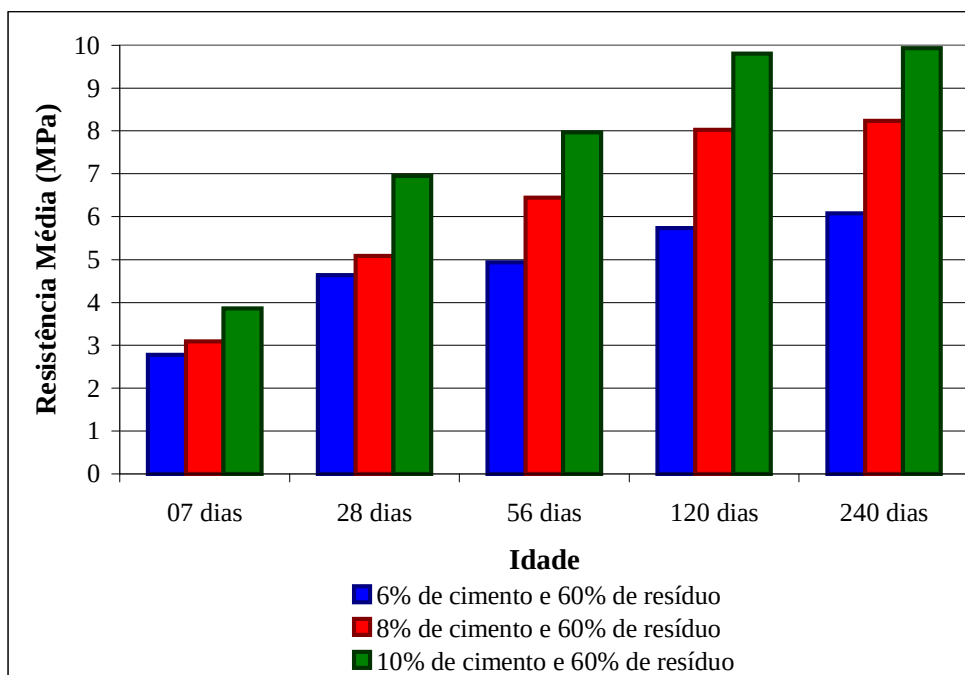


Figura 61 – Resistência à compressão dos tijolos com 60% de resíduo.

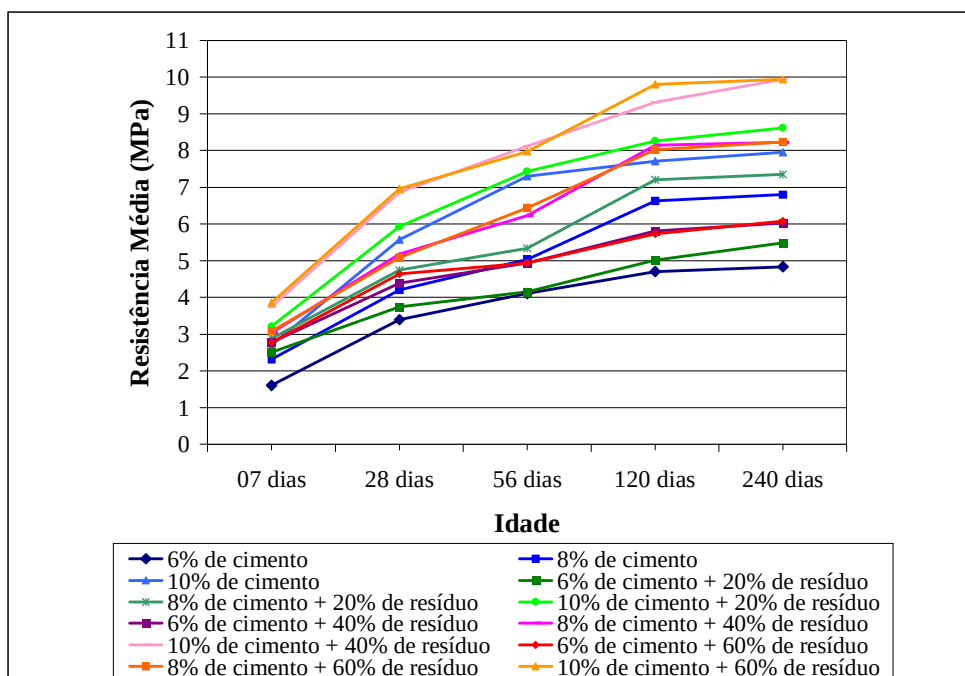


Figura 62 – Evolução da resistência média à compressão dos corpos-de-prova.

5.6.3 Resistência média à compressão dos prismas

Apresentam-se, na tabela 20 e na figura 63, os resultados obtidos nos ensaios de compressão realizados em prismas.

Tabela 20 – Resistência média à compressão dos prismas.

Prismas	Resistência Média (MPa)	
	07 dias	28 dias
02 tijolos	3,37	4,38
03 tijolos	3,08	3,90
04 tijolos	2,66	3,70

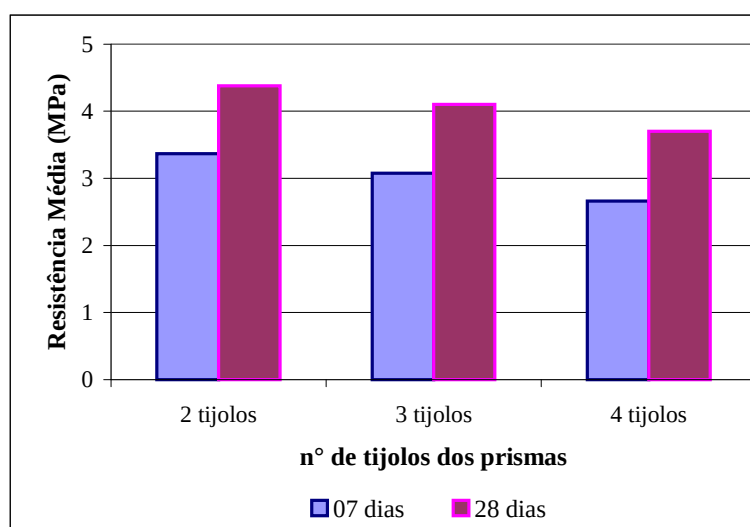


Figura 63 – Resistência média dos prismas.

No ensaio de compressão simples realizados com corpos-de-prova cilíndricos e corpos-de-prova feitos de tijolos, os resultados (tabelas 17 e 19) mostraram que a adição do resíduo de concreto, em quantidade inferior a 40% em relação à massa de solo, induziu aumentos na resistência à compressão dos corpos-de-prova. Notou-se que não houve a mesma tendência de aumento, dos 40% até os 60% de resíduo de concreto, e sim uma estabilização no ganho de resistência, este fato é observado nas figuras 43 a 47 e 53 a 57. Observou-se também que

ocorreu acréscimo de resistência com o aumento do tempo de cura, fato este que ficou evidente nas figuras 48 a 51 e 58 a 61. Porém, pode-se notar que os valores das resistências dos corpos-de-prova feitos de tijolos com idades de 120 e 240 dias foram similares. Isto se deve ao fato de que durante o ensaio de compressão dos corpos-de-prova feitos de tijolos com 240 dias, observou-se que houve ruptura na argamassa de assentamento e não no tijolo. A leitura dos resultados obtidos para os corpos-de-prova cilíndricos, no entanto, mostrou que a resistência do material continuou aumentando, e seria de se esperar, portanto, que o mesmo acontecesse no caso dos tijolos.

Portanto, a adição do resíduo propiciou melhores condições para o atendimento das especificações de norma. Os resultados mostraram também que existe possibilidade de redução na quantidade de cimento necessária para estabilizar o material e, conseqüentemente, reduzir o seu custo de produção.

Outro aspecto importante é a contribuição deste estudo no sentido de mostrar que existe a possibilidade técnica para o aproveitamento destes resíduos, com reflexos positivos para a preservação ambiental e na redução de custos para as administrações municipais, pois a implantação de processos desta natureza pode significar redução do volume de material descartado e minimização da deposição em locais inadequados.

Por fim, a reciclagem de resíduos de construção civil exige profundas modificações na forma de trabalhar dos diferentes participantes, sejam eles projetistas, engenheiros, pesquisadores ou fabricantes de materiais. São necessários, portanto, avanços no campo da pesquisa e da prática, de modo a aprimorar a gestão dos resíduos, com processos que viabilizem a redução dos volumes gerados, a otimização de sistemas de coleta e de tratamento dos resíduos e o seu aproveitamento de maneira apropriada.

Nos canteiros de obra, por exemplo, podem ser incorporados processos que visem a seleção dos materiais, como se faz no caso da reciclagem de lixo doméstico, evitando assim o acúmulo desordenado de grandes volumes de entulho, sem qualquer tipo de controle, planejamento ou visualização de seu valor e importância. A seleção e o tratamento dos resíduos é uma oportunidade para a geração de empregos e renda para os brasileiros, formando valores éticos e de respeito à natureza e valorizando este rico material que pode ter uma destinação muito mais nobre do que aquela que encontra atualmente.

5.6.4 Estatística dos resultados obtidos

Nas tabelas de 21 a 25 são apresentados os valores da média, do desvio padrão e dos coeficientes de variação dos resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova feitos de tijolos.

Tabela 21 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação (C.V.) – 07 dias.

Traço	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	C.V. (%)
Solo + 6% de cimento	1,60	0,28	17,5
Solo + 8% de cimento	2,31	0,32	14,1
Solo + 10% de cimento	2,69	0,29	10,9
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	2,50	0,40	16,1
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	2,89	0,10	3,6
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	3,21	0,32	9,9
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	2,78	0,30	10,9
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	3,03	0,08	2,7
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	3,74	0,19	3,7
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	2,78	0,23	8,3
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	3,08	0,05	1,3
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	3,86	0,09	2,6

Tabela 22 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação (C.V.) – 28 dias.

Traço	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	C.V. (%)
Solo + 6% de cimento	3,40	0,12	3,5
Solo + 8% de cimento	4,20	0,20	4,8
Solo + 10% de cimento	5,57	0,07	1,2
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	3,74	0,05	1,2
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	4,74	0,28	5,8
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	5,93	0,24	4,0
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	4,39	0,31	7,0
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	5,18	0,16	3,1
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	6,86	0,41	6,0
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	4,64	0,06	1,3
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	5,09	0,63	12,5
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	6,96	0,17	2,5

Tabela 23 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação (C.V.) – 56 dias.

Traço	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	C.V. (%)
Solo + 6% de cimento	4,11	0,12	2,9
Solo + 8% de cimento	5,03	0,27	5,3
Solo + 10% de cimento	7,30	0,56	7,7
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	4,15	0,24	5,7
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	5,34	0,20	3,7
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	7,43	0,32	4,3
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	4,94	0,07	1,4
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	6,23	0,10	1,6
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	8,12	0,12	1,5
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	4,94	0,08	1,6
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	6,44	0,63	9,8
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	7,97	0,86	10,8

Tabela 24 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação (C.V.) – 120 dias.

Traço	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	C.V. (%)
Solo + 6% de cimento	4,70	0,34	7,2
Solo + 8% de cimento	6,63	0,59	8,9
Solo + 10% de cimento	7,71	0,08	1,0
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	5,02	0,12	2,4
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	7,21	1,16	16,0
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	8,26	0,86	10,4
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	5,81	0,28	4,8
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	8,14	0,32	3,9
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	9,31	0,26	2,8
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	5,73	0,50	8,8
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	8,02	1,34	16,6
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	9,80	0,16	1,6

Tabela 25 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação (C.V.) – 240 dias.

Traço	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	C.V. (%)
Solo + 6% de cimento	4,84	0,28	9,9
Solo + 8% de cimento	6,80	0,32	10,9
Solo + 10% de cimento	7,96	0,26	2,7
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	5,49	0,12	2,2
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	7,35	0,22	3,0
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	8,62	0,40	4,6
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	6,03	0,10	1,6
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	8,22	0,12	1,4
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	9,93	0,10	1,0
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	6,07	0,44	7,2
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	8,23	0,11	1,4
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	9,93	0,20	2,0

Segundo Costa Neto (1998), o coeficiente de variação permite efetuar uma análise preliminar dos dados obtidos em um experimento que mede a variabilidade das observações. O coeficiente de variação (CV) fornece a percentagem de variação de dados de uma amostra.

Para que uma amostra seja considerada aceitável, o valor de CV não deve ser alto. Geralmente, se os dados de uma amostra apresentam um CV igual ou maior a 25%, a sua qualidade é considerada duvidosa (COSTA NETO, 1998).

De acordo com os valores de CV calculados através dos dados do ensaio de compressão dos corpos de prova feitos com tijolos, observa-se que todos os valores são inferiores a 25% e, portanto, pode-se considerar a qualidade aceitável para os dados.

6. CONCLUSÕES

Em vista dos resultados obtidos, concluiu-se que:

- A adição dos resíduos de concreto possibilitou condições técnicas favoráveis para se produzir tijolos prensados de solo-cimento com qualidade e redução no consumo de cimento para que sejam atendidas as especificações das normas técnicas brasileiras;
- Os tijolos produzidos com o resíduo de concreto em estudo, tiveram suas propriedades mecânicas melhoradas e todos atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos nas normas brasileiras;
- O aproveitamento dos resíduos de concreto na fabricação de tijolos de solo-cimento pode configurar-se numa prática ecologicamente correta, pois dispensa o processo de cozimento, pode contribuir no sentido de reduzir o volume de material descartado na natureza, pode reduzir a exploração dos recursos naturais e assim preservar o meio-ambiente;
- Os resíduos de concreto são uma excelente alternativa para melhorar as características dos solos, visando a sua aplicação na produção do solo-cimento.

PROPOSTAS PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA

O aproveitamento de resíduos de construção e demolição é um tema que merece ser explorado, são sugeridas as seguintes propostas:

- Estudar o aproveitamento de resíduo de concreto na produção de tijolos prensados de solo-cimento utilizando outros tipos de cimento, como ARI, e reduzir as dosagens de cimento a serem estudadas devido aos resultados de resistências à compressão obtidos neste trabalho;
- Estudar o aproveitamento de outros tipos de resíduos de construção e demolição na produção de tijolos prensados de solo-cimento, solo-cimento compactado para base em pavimentos e outras possibilidades como o solo-cimento plástico para a confecção de elementos de fundação moldados *in loco*;
- Estudar o aproveitamento de outros tipos de resíduos de construção e demolição, incorporando-os em outras matrizes, como concreto, na produção de argamassas para assentamento e revestimento;
- Investigar e caracterizar os resíduos de construção e demolição gerados nas cidades, propondo alternativas para a sua aplicação de forma correta, visando minimizar os danos causados ao meio ambiente pela sua disposição em locais inadequados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE FILHO, J. **Reforço de solos com utilização de tubulões em solo-cimento.** 1989. 190 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, 1989.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHM, V.M. Materiais reciclados e sua aplicações. In: SEMINÁRIO: DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4, 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2001. p. 43-56. (CT-206)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Dosagem das misturas de solo-cimento:** normas de dosagem e métodos de ensaio. São Paulo: ABCP 1986. 51 p. (ET-35)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Solo-cimento na habitação popular**. 2. ed. São Paulo: ABCP 1987. 14 p. (EC-4)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água. Rio de Janeiro, 1984. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024**: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025**: Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: Gesso para construção civil. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081**: Argamassa colante industrializada – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

BITAR, O. Y. Desafio a sustentabilidade ambiental da mineração e uso de agregados naturais em áreas urbanas. In: SEMINÁRIO: DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2, 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 1999. p.1-13.

BLÜCHER, E. **Mecânica dos solos para engenheiros rodoviários**. São Paulo: Blücher, 1951. 191 p.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A.; CASSA, J. C. S. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFAB, 2001.

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO - CEPED. **Manual de construção com solo-cimento**. Camaçari: CEPED/ABCP, 1984. 116 p.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 266 p.

CYTRYN, S. **Soil construction: its principle and application for housing**. State of Israel – Ministry of Labor – House Division. The Weizmann Science Press of Israel. Jerusalem, 1957.

FERRAZ, A. L. N. **Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento**. 2004. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2004.

FREIRE, W. J. **Tratamento prévio do solo com aditivos químicos e seu efeito sobre a qualidade do solo-cimento**. 1976. 142 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1976.

GIACHETTI, H. L., RÖHM, S. A.; NOGUEIRA, J. B.; e CINTRA, J. C. A. **Propriedades geotécnicas do sedimento cenozóico**. São Paulo: ABMS/SP, 1993. p. 143-175.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

GUNTHER, W. M. R. Minimização de resíduos e educação ambiental. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7, 2000, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2000.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102 f. Tese (Livre – Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V. M. **Aproveitamento de resíduos como materiais de construção**: reciclagem de entulho para produção de materiais de construção. Salvador: EDUFBA, 2001. p. 28-45. (Projeto entulho bom).

JOHN, V. M. A construção e o meio ambiente. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho.ind.ccivil.htm>>. Acessado em julho de 2004.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização como agregado para argamassas e concretos**. 1997. 147 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

LIMA, F. B.; VIEIRA, G. L. Blocos de concreto produzidos com entulho da construção civil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Ibracon, 2001. 1 CDROM.

OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil**: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem. 2002. 191 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

OLIVEIRA, M. J. E.; MATTOS, J. T.; ASSIS, C. S. Resíduos de concreto: desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002, Belo horizonte.

Anais... Belo Horizonte: Ibracon, 2002. 1 CDROM.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P. Resíduos de construção civil – Nova legislação permite rápido avanço para normas técnicas e novas soluções. In: ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 34, 2004, Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: ASSEMAE, 2004.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION – PCA. **Soil-Cement Construction handbook**. Illinois, 1969. 42 p.

SEGANTINI, A. A. S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira (SP)**. 2000. 176 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SILVEIRA, A. **Estabilização de solos com cimento**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1966, 45 p. (Notas de Aula)

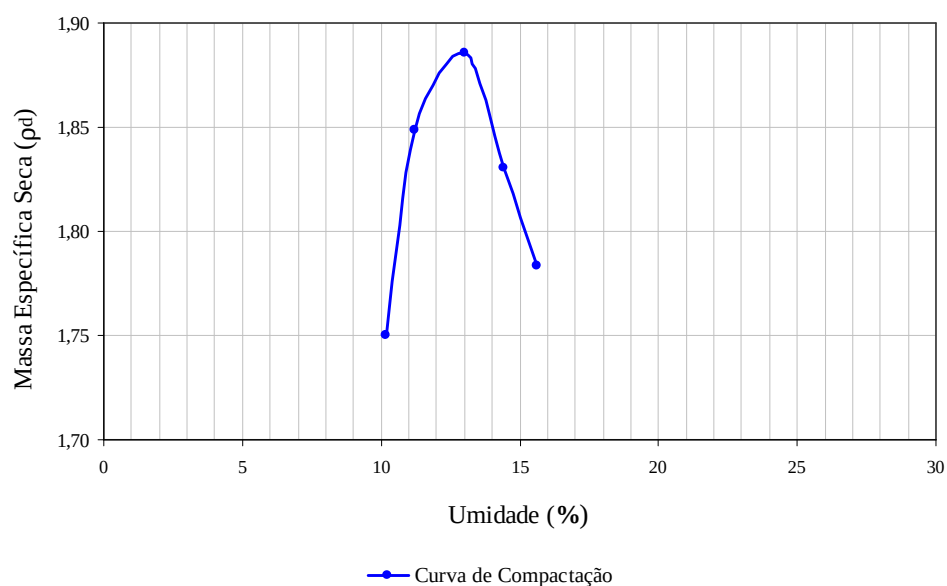
ZORDAN, S. E. **A Utilização do entulho como agregado na confecção do concreto**. 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

ZORDAN, S. E. Entulho da indústria da construção civil. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho.ind.ccivil.htm>>. Acessado em julho de 2004.

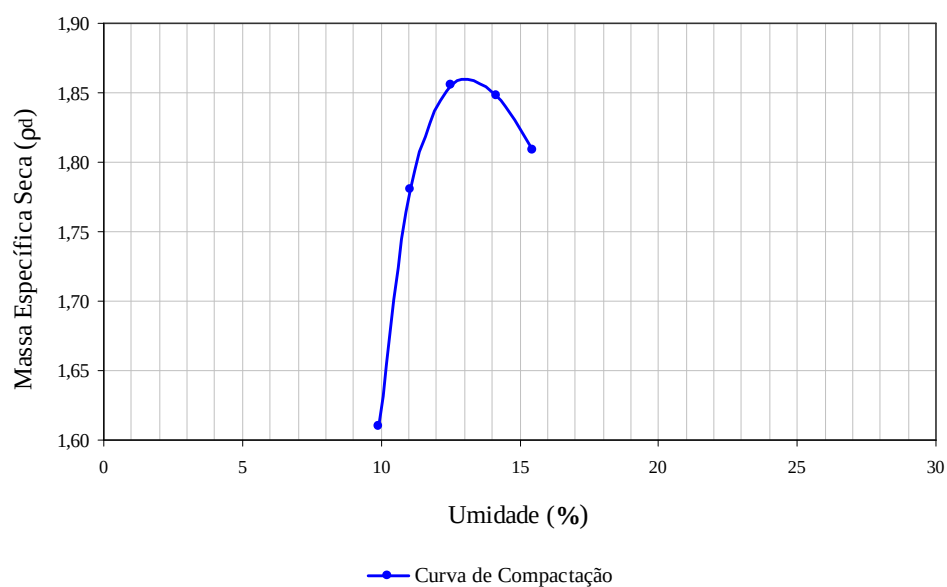
ANEXOS

ANEXO 1:

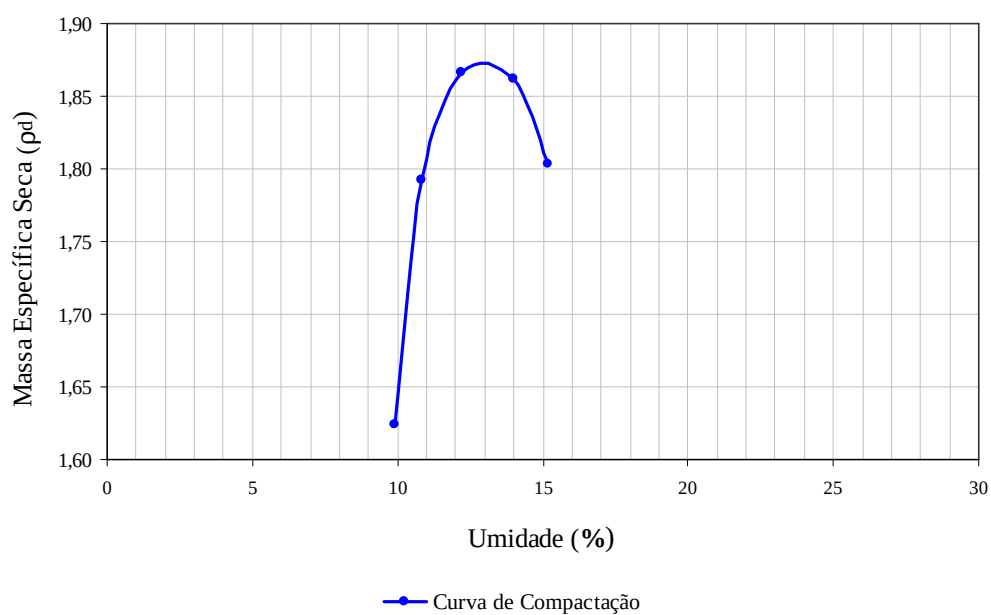
Curvas obtidas no ensaio de compactação do solo e das misturas.



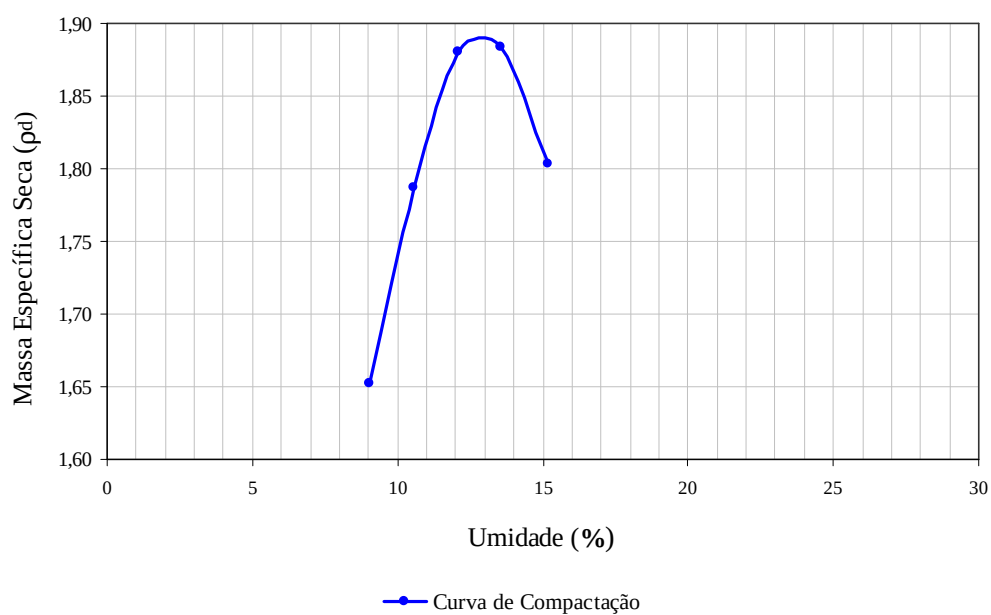
Curva de Compactação solo natural.



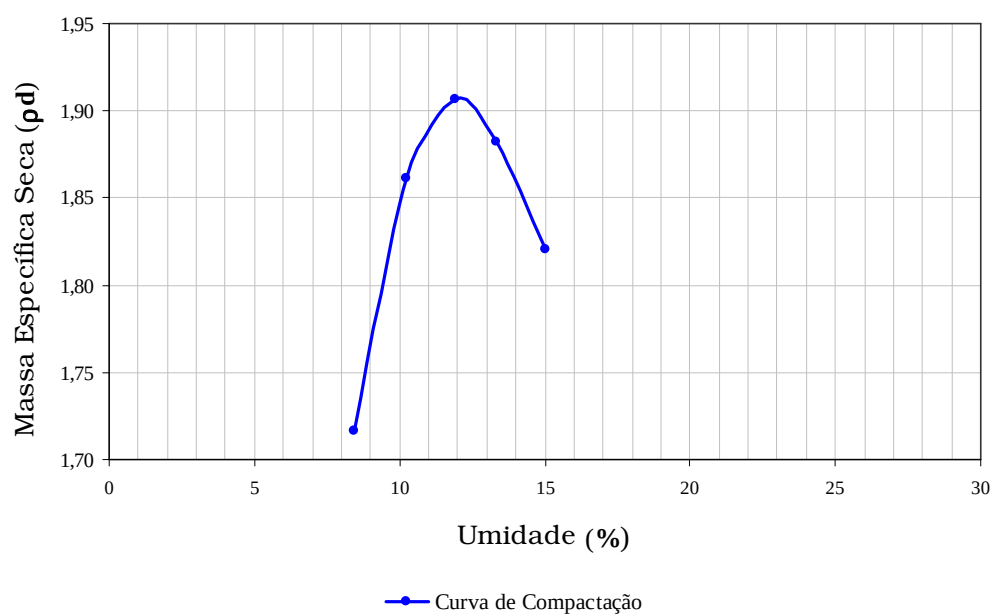
Curva de Compactação solo + 6% de cimento.



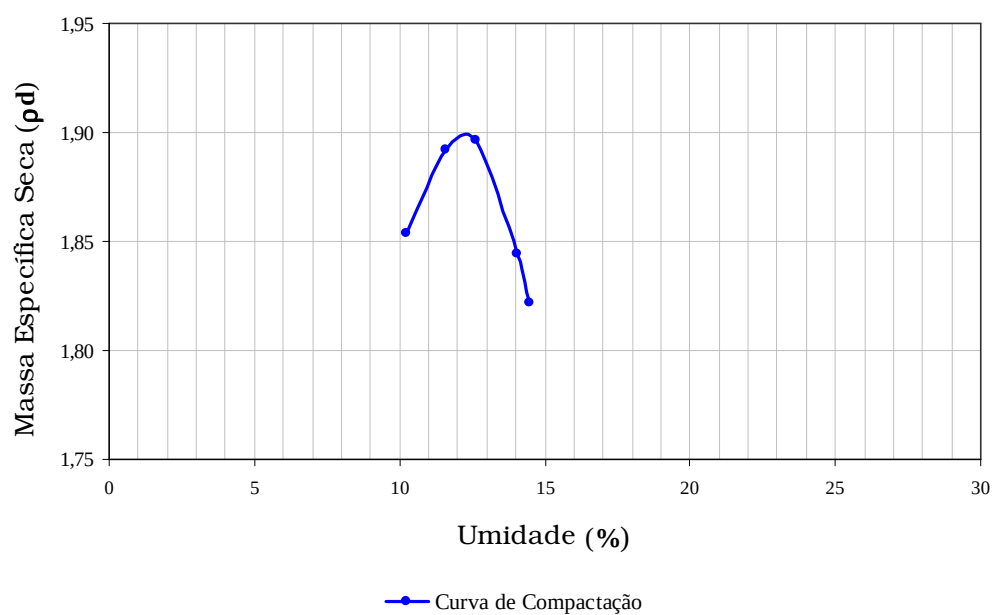
Curva de Compactação solo + 8% de cimento.



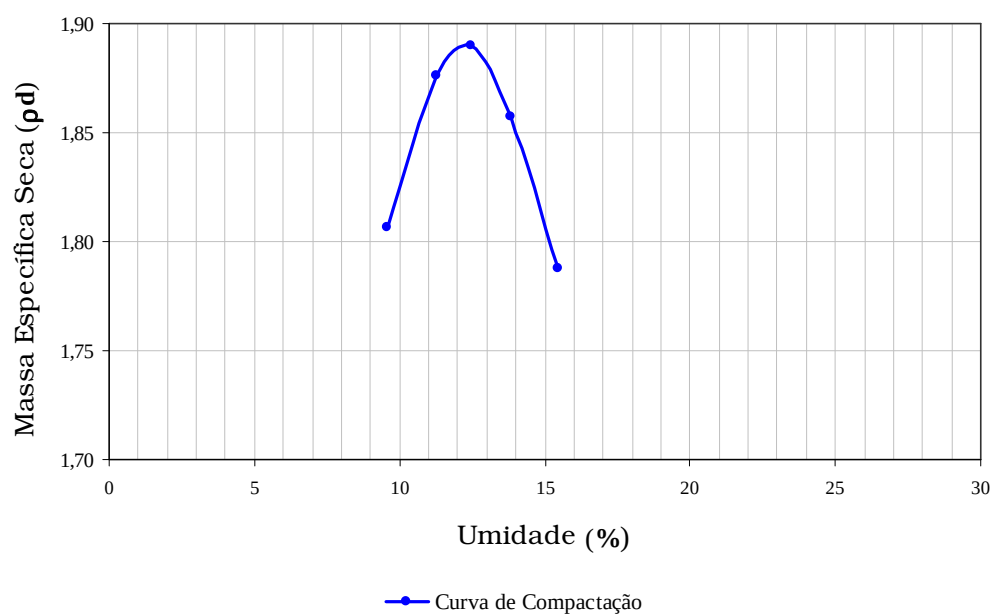
Curva de Compactação solo + 10% de cimento.



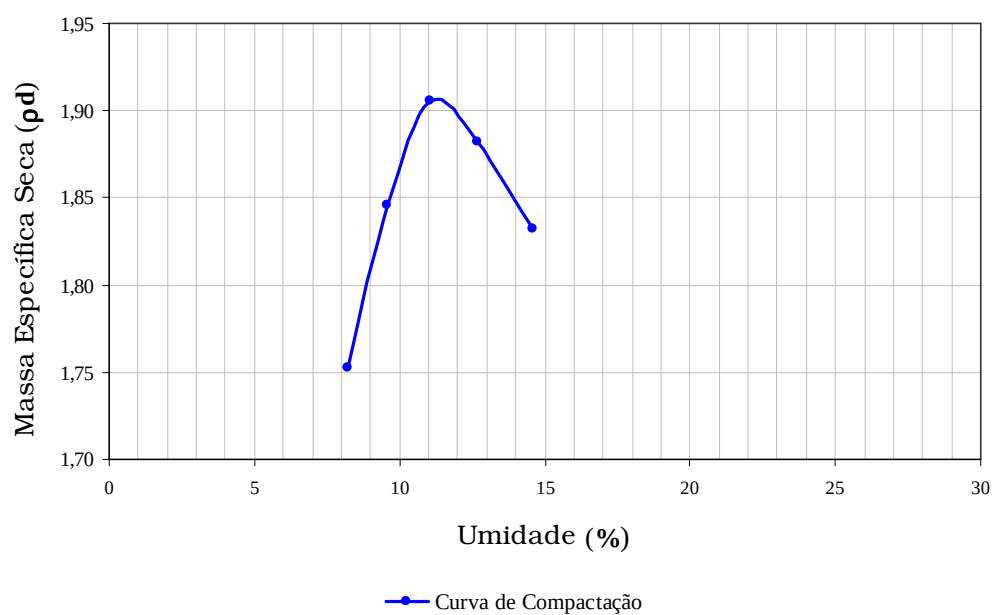
Curva de Compactação solo + 20% de resíduo + 6% de cimento.



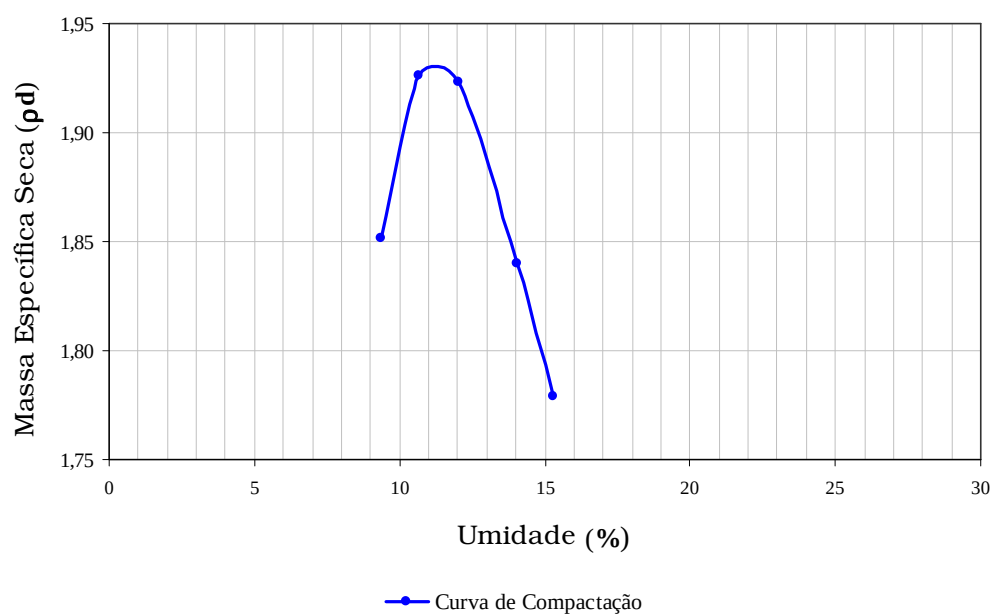
Curva de Compactação solo + 20% de resíduo + 8% de cimento.



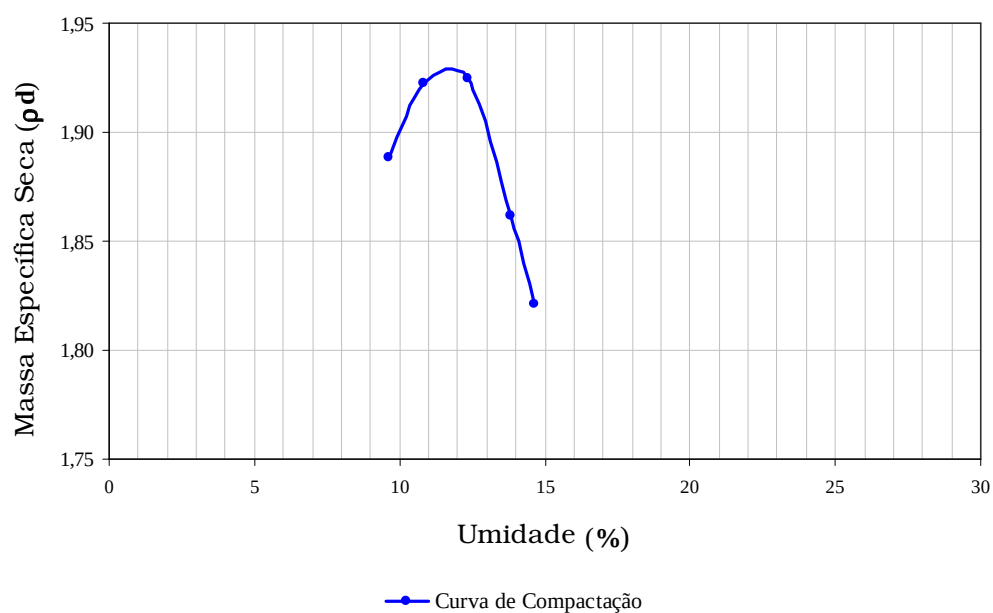
Curva de Compactação solo + 20% de resíduo + 10% de cimento.



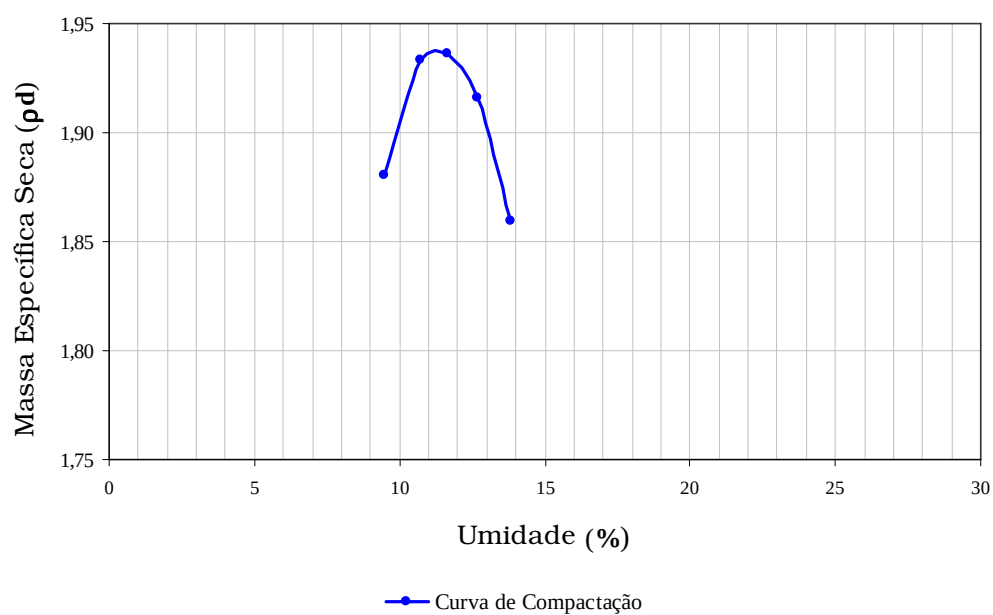
Curva de Compactação solo + 40% de resíduo + 6% de cimento.



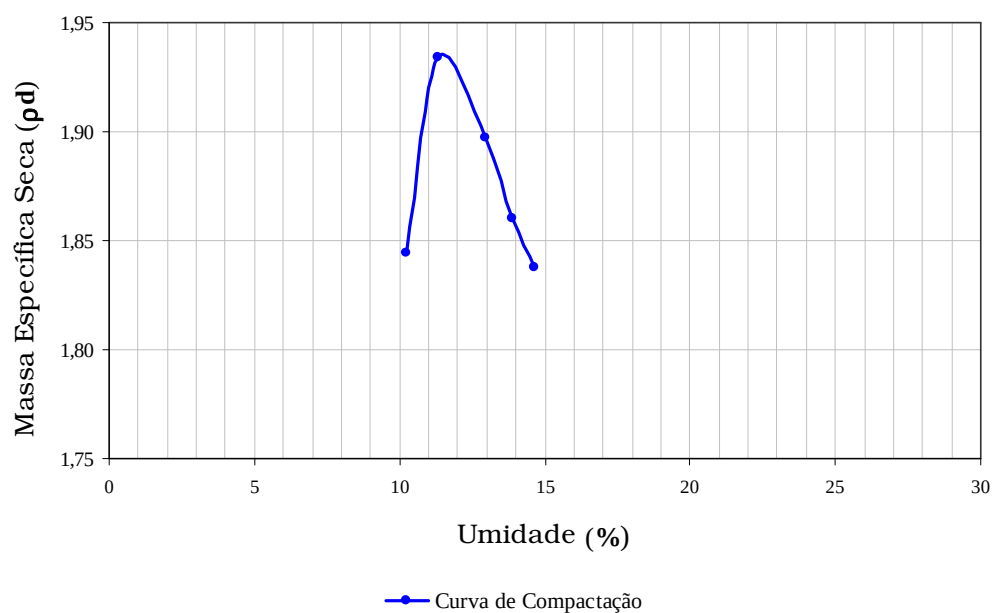
Curva de Compactação solo + 40% de resíduo + 8% de cimento.



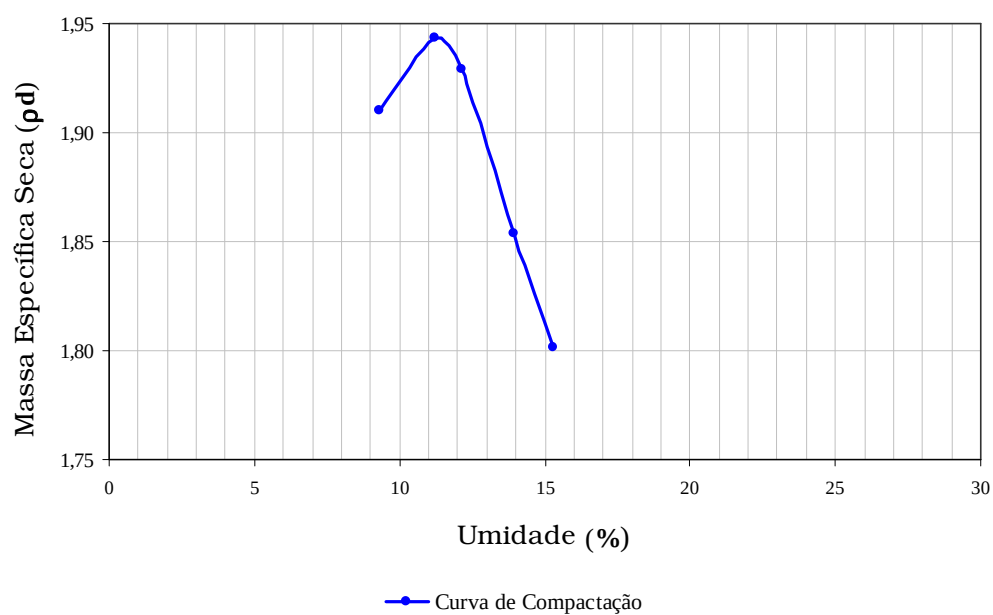
Curva de Compactação solo + 40% de resíduo + 10% de cimento.



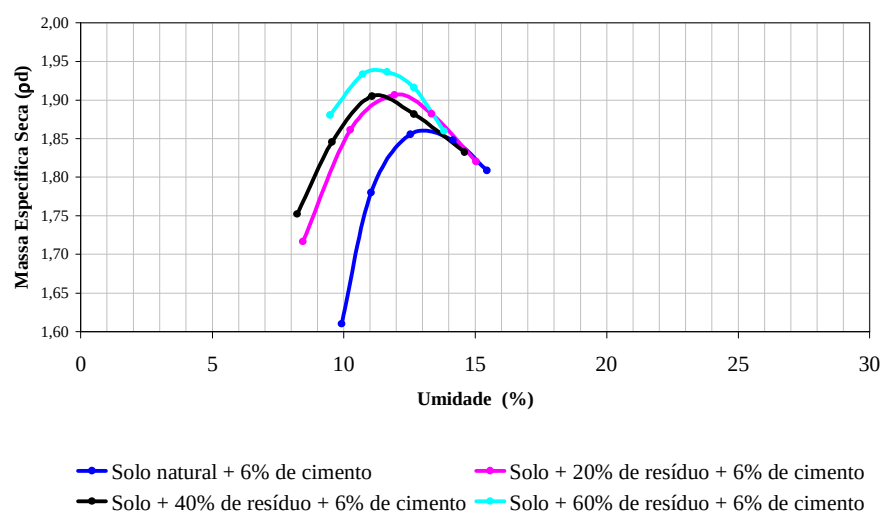
Curva de Compactação solo + 60% de resíduo + 6% de cimento.



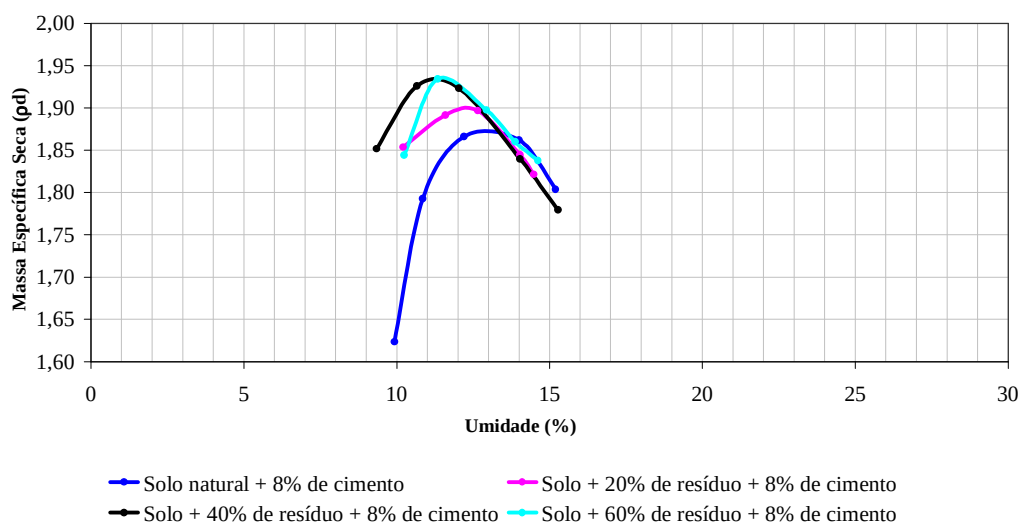
Curva de Compactação solo + 60% de resíduo + 8% de cimento.



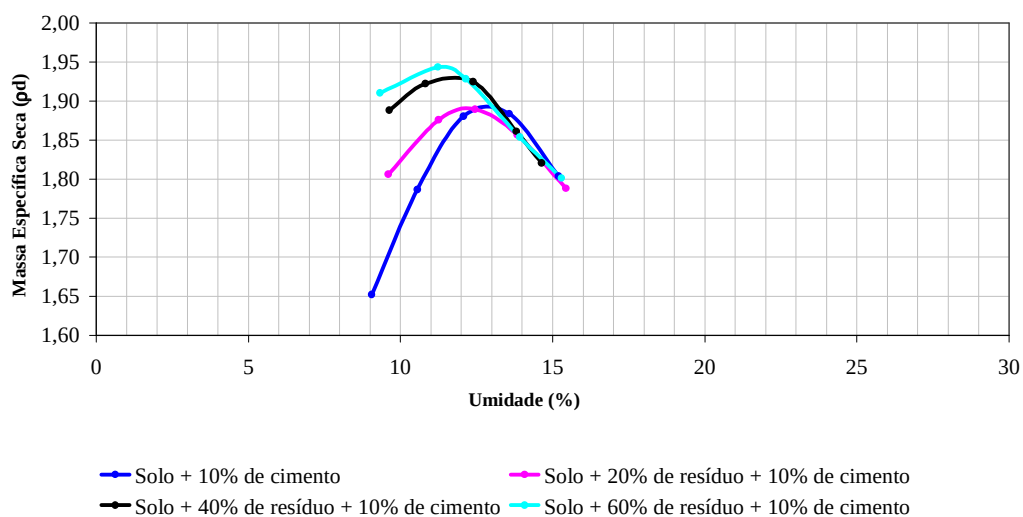
Curva de Compactação solo + 60% de resíduo + 10% de cimento.



Curva de compactação das misturas com 6% de cimento.



Curva de compactação das misturas com 8% de cimento.



Curva de compactação das misturas com 10% de cimento.

ANEXO 2:

Umidade de moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos.

Traço	Umidade (%)				
	07 dias	28 dias	56 dias	120 dias	240 dias
Solo + 6% de cimento	12,9	13,5	13,5	13,1	12,9
Solo + 8% de cimento	12,6	13,5	13,5	13,2	12,2
Solo + 10% de cimento	12,6	13,6	135	13,0	12,9
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	11,8	11,8	12,2	12,4	11,7
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	11,9	12,2	12,9	12,6	12,1
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	11,5	12,0	12,9	12,1	11,5
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	11,4	11,3	12,0	12,3	11,4
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	11,5	11,3	12,0	11,4	11,2
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	11,8	11,4	12,8	12,0	11,8
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	11,3	12,1	11,9	11,7	11,5
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	12,0	12,2	12,3	12,0	11,8
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	11,8	11,7	12,0	12,0	11,8

ANEXO 3:

Umidade de moldagem dos tijolos (%).

Traço	Umidade (%)				
	07 dias	28 dias	56 dias	120 dias	240 dias
Solo + 6% de cimento	12,8	12,8	12,8	12,5	13,5
Solo + 8% de cimento	12,9	12,0	12,7	13,0	12,4
Solo + 10% de cimento	12,9	13,7	12,4	12,8	12,8
Solo + 6% de cimento + 20% de resíduo	12,1	12,5	12,1	12,4	12,3
Solo + 8% de cimento + 20% de resíduo	12,4	11,8	12,4	12,7	12,5
Solo + 10% de cimento + 20% de resíduo	12,5	11,1	12,5	12,4	12,2
Solo + 6% de cimento + 40% de resíduo	11,5	11,3	11,4	10,9	12,6
Solo + 8% de cimento + 40% de resíduo	12,0	11,6	12,1	11,0	11,8
Solo + 10% de cimento + 40% de resíduo	12,2	11,7	12,8	11,7	12,5
Solo + 6% de cimento + 60% de resíduo	12,0	11,6	11,8	11,3	11,5
Solo + 8% de cimento + 60% de resíduo	12,0	12,0	11,7	12,1	11,4
Solo + 10% de cimento + 60% de resíduo	11,6	11,9	12,2	11,8	11,8