



### III-212 – INVESTIGAÇÃO LABORATORIAL PARA APROVEITAMENTO DE RCC NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA COM USO EM ESTACA DE COMPACTAÇÃO

**Ronaldo A. de Medeiros Junior<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Civil pela Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco (POLI/UPE).

**Stela P. Fucale<sup>(2)</sup>**

Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco (POLI/UPE).

**Alexandre D. Gusmão<sup>(3)</sup>**

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco (POLI/UPE).

**Kalinny P. Vaz Lafayette<sup>(4)</sup>**

Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco (POLI/UPE).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Damasco, 37 A – Jardim São Paulo - Recife - PE - CEP: 50781-690 - Brasil - Tel: (31) 88620040 - e-mail: [ronaldodemedeirosjr@yahoo.com.br](mailto:ronaldodemedeirosjr@yahoo.com.br)

#### RESUMO

O volume de resíduos gerados pela construção civil atualmente no Brasil é absurdamente grande devido ao fato da indústria da construção civil ser uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais. Esses resíduos são conhecidos como Resíduos da Construção Civil (RCC), definidos, de uma maneira mais simplificada, como os resíduos provenientes de construções, reparos, reformas, e demolições de estruturas e estradas. A falta de um adequado sistema de gerenciamento do RCC ocasiona, de maneira direta ou indireta, influências negativas nas vidas das pessoas. Problemas como deterioração da paisagem, contaminação do solo, drenagem e diminuição de matéria-prima são comuns em várias cidades atualmente no Brasil. Em meio a esse contexto, a reciclagem consiste numa boa alternativa para reduzir os impactos produzidos pelos RCC, pois proporciona um aumento na vida útil dos aterros, bem como uma diminuição dos pontos de descarte clandestinos. Apesar de ser um material heterogêneo, os constituintes dos RCC possuem alto valor agregado e de boa resistência mecânica. Dentro deste contexto, o presente estudo teve por objetivo analisar a viabilidade de alternativas sustentáveis para destinação final dos RCC, especificamente a viabilidade técnica do uso de agregado reciclado de RCC para produção de concreto a ser utilizado como material de composição de estacas de compactação para melhoramento de solos em obras de fundação. Foram realizados ensaios de caracterização (composição gravimétrica, granulometria e limites de consistência) e ensaio de resistência à compressão simples com amostra de RCC e amostra de agregado miúdo natural usualmente utilizado nas estacas de compactação (pó-de-pedra), comparando-se os resultados encontrados entre as amostras ensaiadas. Os resultados dos ensaios de caracterização revelaram semelhanças existentes entre a amostra de RCC e a amostra de referência. Possivelmente, por apresentar materiais cimentícios em sua composição original, o valor máximo de resistência à compressão simples encontrado para a amostra de RCC (9,36MPa) foi maior que o valor encontrado para o pó-de-pedra (7,70MPa). Em suma, as análises demonstraram que o RCC apresenta potencialidade de uso como material alternativo para uso em estacas de compactação em obras de fundação, visto que no âmbito da investigação laboratorial, os estudos indicam condições técnicas para tal finalidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo da Construção Civil, Reciclagem, Ensaio de Resistência à Compressão Simples, Estaca de Compactação.

#### INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aumento considerável de volume das construções estimulou o desenvolvimento da indústria da construção civil. Contudo, esse crescimento não foi acompanhado por um desenvolvimento sustentável. Essa carência pode ser observada, por exemplo, no alto consumo de recursos naturais esgotáveis e



na geração exacerbada de Resíduos da Construção Civil (RCC) que, em conjunto com uma disposição inadequada, tem ocasionado diversos impactos ambientais negativos.

BUTTLER (2003) comenta que a geração de resíduos em um processo de fabricação é praticamente inevitável. Quando não há uma tecnologia apropriada para o reaproveitamento ou reciclagem de um resíduo, certamente esse material será depositado na natureza e poderá originar inúmeros problemas para o meio-ambiente.

A grande produção de RCC ocasiona em problemas que vão desde o momento da sua geração, quando em virtude do desperdício, há um acréscimo na quantidade de materiais utilizados e consequentemente de recursos retirados da natureza, até o momento da sua disposição final, já que na maior parte das vezes os RCC não são dispostos de maneira adequada, resultando no surgimento e agravamento de problemas urbanos (CARNEIRO,2005).

Apesar de entrar em vigor, em 2002, a Resolução nº 307 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, que determina como prioridade a não geração dos resíduos, sua reutilização, reciclagem e, somente nos casos em que nenhum dos procedimentos anteriores possa ser adotado, a destinação final em aterros para inertes, a elevada geração de RCC ainda é preocupante e a reciclagem desses resíduos vem sendo estudada, através de pesquisas, em várias universidades do país.

Segundo ROCHA e JOHN (2003) a importância do reaproveitamento de RCC, deve-se basicamente a dois fatores: possibilidade de desenvolvimento de materiais de baixo custo e a interface direta do setor da construção com a cadeia produtiva.

A reciclagem dos Resíduos da Construção Civil possibilitará, dentre outros benefícios, o crescimento na vida útil dos aterros, bem como uma redução dos pontos de descartes clandestinos.

O grande consumo de agregados, tais como brita, areia e outros, no mundo inteiro, uma vez que são materiais largamente utilizados pela indústria da construção civil e que esta é uma atividade fundamental para a maioria dos países desenvolvidos ou em desenvolvimento, estimula ainda mais a procura de alternativas para utilização de RCC como agregado reciclado.

Segundo OLIVEIRA (2002), 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 que compõe são de alto valor agregado e de boa resistência mecânica, tais como: areias, pedras-britadas, concreto, tijolos e tantos outros materiais. Portanto, os materiais descartados pelas obras de construção civil gerados numa cidade são verdadeiras jazidas de matérias-primas que são passíveis de ser exploradas.

Sendo assim, a utilização do RCC como agregado reciclado vem sendo motivo de estudo em várias universidades do país. Pesquisas que objetivam conhecer a viabilidade dos Resíduos da Construção Civil para produção de blocos e artefatos de concreto; sistemas de drenagem e muro de peso em obra de contenção; usos em pavimentações, dentre outras, tentam buscar alternativas para a reciclagem do RCC.

A execução de estacas de compactação para melhoramento de solos é um procedimento que requer a utilização de um alto volume de agregados. Segundo GUSMÃO FILHO (1998), a implantação do procedimento de melhoramento da camada superficial do solo com estacas de compactação é prática corrente nas obras de fundações na cidade de Recife, desde a década de 70, com a finalidade de viabilizar o uso de fundações superficiais, e reduzir de forma significativa os custos da fundação, uma vez que a execução dessa técnica possibilita elevar a resistência do solo e reduzir o nível de deformabilidade do mesmo.

O agregado miúdo normalmente utilizado na execução dessas estacas provém de matéria-prima natural. Trata-se de uma mistura de areia ou pó-de-pedra lavado.

Sendo assim, esse estudo teve por objetivo realizar uma investigação laboratorial para aproveitamento de RCC, em substituição ao agregado miúdo natural, na produção de concreto com uso em estaca de compactação.



## MATERIAIS E MÉTODOS

### Preparação das Amostras

A amostra de RCC foi obtida em uma obra de elevação vertical de uma construtora da cidade de Recife-PE. No momento da coleta da amostra, a obra estava na fase de acabamento (Figura 1).

A participação dessa obra no Sistema de Gerenciamento de Resíduos (SGR), inserido no projeto Entulho Limpo (SINDUSCON/UPE), sob a coordenação do grupo de pesquisa AMBITEC da Escola Politécnica de Pernambuco, foi de grande importância para seleção da mesma, uma vez que no próprio canteiro da obra já era realizada uma separação preliminar dos resíduos reciclados como agregados, dos demais resíduos gerados.

O agregado natural (pó-de-pedra) foi coletado em uma obra que se encontrava executando o procedimento de melhoramento de solo através de estaca de compactação de areia e brita (Figura 2).



Figura 1: Coleta da amostra de RCC.



Figura 2: Coleta da amostra de pó-de-pedra.

Após a coleta, as amostras de RCC e pó-de-pedra foram armazenadas em bombonas e encaminhadas para o Laboratório de Mecânica dos Solos da Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE).

A amostra de RCC foi submetida a um processo de beneficiamento para poder ser utilizada nos ensaios laboratoriais (caracterização e resistência). O material passou por um britador de mandíbula, o que possibilitou a redução do tamanho das partículas da amostra de RCC para uma dimensão máxima de 4,8mm.

### Ensaio de Caracterização

Em decorrência da inexistência de normas técnicas específicas para a realização de ensaios de laboratório com RCC, utilizou-se para as amostras investigadas, a fim de haver padronização, as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), usadas para solo. Foram realizados ensaios de composição gravimétrica, granulometria (peneiramento e sedimentação) e limites de consistência.

A composição gravimétrica da amostra de RCC foi obtida através de segregação tátil-visual do material (Figura 3), enquanto que o ensaio de granulometria foi realizado de acordo com a norma da ABNT – NBR 7181/84 (Análise Granulométrica), Figura 4.

Com a finalidade de aprofundar o conhecimento da forma dos grãos das amostras investigadas, foram realizados os ensaios de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Limite de Contração. O ensaio de limite de liquidez foi realizado de acordo com a norma da ABNT – NBR 6459/84 (Solo- Determinação do Limite de Liquidez), o ensaio de limite de plasticidade foi realizado segundo a norma da ABNT – NBR 7180/84 (Solo – Determinação do Limite de Plasticidade) e o ensaio de limite de contração foi executado conforme estabelece a norma da ABNT – NBR 7183/82 (Solo – Determinação do Limite de Contração).



**Figura 3: Ensaio de composição gravimétrica.**



**Figura 4: Ensaio de granulometria.**

### **Ensaio de Resistência à Compressão Simples**

O ensaio de resistência à compressão simples foi realizado com o objetivo de determinar a resistência mecânica do concreto feito com Resíduo da Construção Civil (beneficiado) da fase de acabamento em substituição ao agregado miúdo natural, e do concreto convencional com o pó-de-pedra como agregado miúdo.

É importante destacar que em campo, na execução das estacas de compactação para melhoramento de solos, as estacas compostas de cimento, pó-de-pedra e brita são chamadas de estacas argamassadas. Entretanto, apesar do nome adotado, essas estacas são compostas de um concreto simples, uma vez que em sua composição há cimento, agregado miúdo e agregado graúdo.

Para a execução do ensaio de resistência à compressão simples, foram moldados 6 corpos-de-prova (CP's) de cada amostra estudada, sendo rompidos 2 CP's em cada dia de cura escolhido, possibilitando assim a elaboração de uma média aritmética entre esses dois valores de tensão de ruptura obtidos. Os corpos-de-prova foram rompidos com 7, 14 e 28 dias de cura.

Foram utilizados no experimento o cimento Portland CP II-Z-32 e brita 25mm. Os moldes cilíndricos utilizados para moldagem dos CP's possuíam 15cm de diâmetro e 30cm de altura. O traço, em volume, usualmente utilizado na execução das estacas de compactação de cimento, pó-de-pedra e brita (concreto convencional) é o 1: 8: 4 (cimento : pó-de-pedra ou areia : brita) com um fator água cimento igual a 0,3.

Foi adotado neste estudo o traço 1:8:4 para a elaboração do concreto convencional e um fator água cimento de 0,6, uma vez que o fator a/c 0,3 proporcionou um concreto sem nenhuma trabalhabilidade, ou seja, não foi possível moldar os corpos-de-prova com fator a/c 0,3. Vale ressaltar que em campo, na execução dessas estacas de compactação, muitas vezes não é feito o controle da quantidade de água adicionada, modificando assim o fator água cimento.

O fator a/c 0,6 permitiu a moldagem dos corpos-de-prova com o processo de compactação com o auxílio de um soquete de 5Kg caindo em queda livre de uma altura de 55cm, uma vez que o concreto apresentou característica bastante seca com Slump 0 (zero). Esse processo é utilizado em empresa de moldagem e ruptura de concreto seco na cidade de Recife-PE.

Para a elaboração do concreto com amostra de RCC substituindo o agregado miúdo natural (pó-de-pedra), em função do resíduo estudado apresentar em sua composição materiais como tijolo e cerâmica, foi necessário diminuir a quantidade de agregados existente no concreto rodado com RCC, uma vez que esses materiais tem por característica uma absorção de água maior do que a absorção proveniente do pó-de-pedra do concreto convencional. Para conseguir diminuir a quantidade de agregados, foi modificado o traço do concreto de 1:8:4 para 1:6:3, traço esse também utilizado na execução de estacas de compactação, mantendo-se a relação a/c 0,6 e o Slump 0 (zero). O processo de moldagem desses corpos-de-prova foi o mesmo do concreto convencional.





Em suma, o concreto convencional foi elaborado com traço 1:8:4 e a/c 0,6, enquanto o concreto com amostra de RCC substituindo o pó-de-pedra, correspondeu a 1:6:3 e a/c 0,6, respectivamente.

Para moldar os corpos-de-prova, dividiu-se visualmente o molde em cinco camadas aproximadamente igual e preencheu-se essas camadas, uma por uma, com o concreto rodado, compactando cada camada com 30 golpes do soquete especificado, totalizando 150 golpes para cada corpo-de-prova moldado. Os golpes do soquete foram aplicados perpendicularmente e distribuídos uniformemente sobre a superfície de cada camada. Terminado o procedimento, os CP's permaneceram por 24hs sob uma manta úmida para adquirir resistência sem perder água.

Passadas às 24hs, os corpos-de-prova foram desmoldados e encaminhados para uma câmara úmida, onde ficaram em cura até os dias de ruptura. Dentro da câmara úmida, a temperatura foi mantida em 27° Celsius e a umidade em 96%.

Os corpos-de-prova foram capeados e posteriormente rompidos por meio de uma prensa de compressão com acionamento elétrico e capacidade máxima de 100 ton (Figuras 5 e 6).



Figura 5: Capeamento dos corpos-de-prova.



Figura 6: Ruptura dos corpos-de-prova.

## RESULTADOS

O ensaio de composição gravimétrica permitiu conhecer quais os materiais constituintes da amostra coletada de RCC. A Figura 7 apresenta os percentuais que cada constituinte representa, em peso, na amostra de RCC na fase de acabamento, de acordo com a separação tátil-visual realizada.

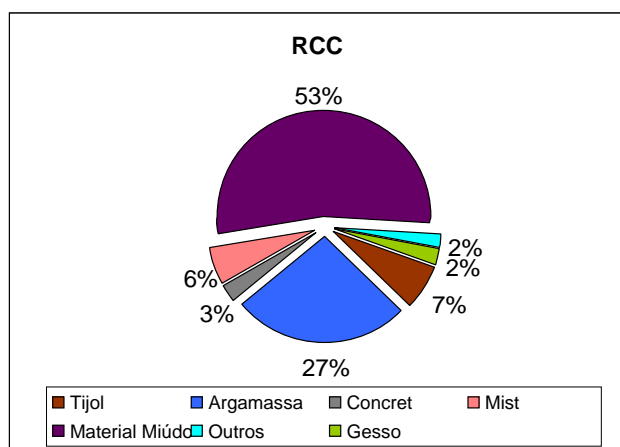


Figura 7: Resultado do ensaio de composição gravimétrica.



De acordo com a Figura 7, observa-se que a amostra de RCC de fase de acabamento é composta por tijolo, argamassa, concreto, material misto, material miúdo, gesso e uma pequena parcela, 2%, de outros materiais como cerâmica, papel, madeira, metal e vidro. A alta porcentagem de material miúdo (53%) encontrada na amostra de RCC estudada foi resultante da grande quantidade de solo existente nesse material, caracterizando a amostra com um aspecto de material mais fino. O material misto consistiu no conjunto de argamassa com tijolo que não foi possível ser separado.

Um ponto importante observado foi que apesar da obra, onde foi coletado o resíduo, possuir um bom sistema de segregação de resíduos, a sua amostra apresentou ainda pequenas quantidades de resíduos classificados, segundo a resolução nº 307 do CONAMA, como Classe B (madeira, plástico, papel, metal). O motivo desse inconveniente se deve a provável colocação desses materiais na caçamba estacionária, e não em bombonas e baias encontradas na própria obra exatamente para esse tipo de destinação. Esses resíduos foram eliminados da amostra após a determinação da composição gravimétrica.

Os resíduos de gesso, encontrados na amostra da fase de acabamento e que representou 2% da amostra, foram cuidadosamente separados dos demais resíduos e descartos após a determinação da composição gravimétrica.

No que se refere aos ensaios de granulometria por peneiramento e sedimentação, foi possível a elaboração da curva granulométrica das amostras estudadas (RCC reciclado e agregado natural), segundo a Figura 8.

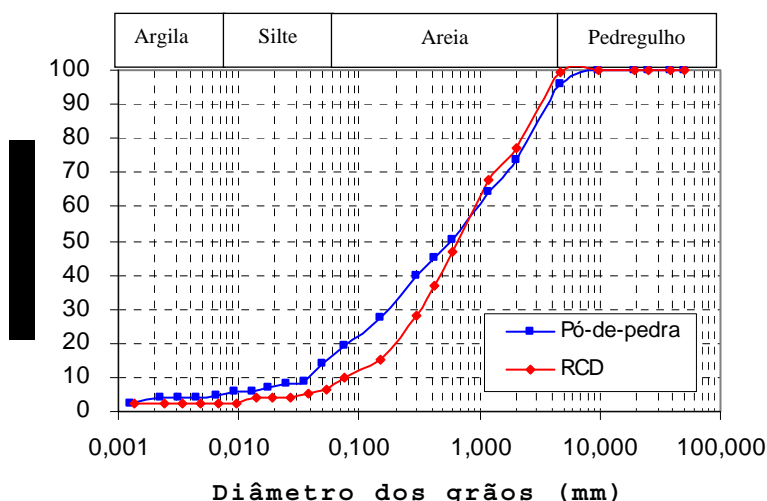
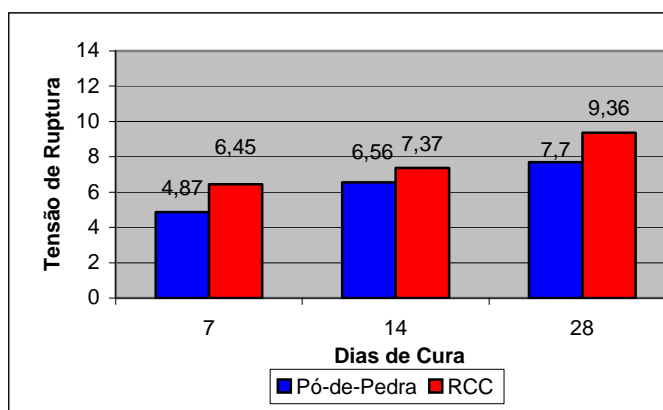


Figura 8: Curva granulométrica das amostras ensaiadas.

Conforme a Figura 8, as curvas granulométricas da amostra de RCC e da amostra de pó-de-pedra não apresentam presença de pedregulho. Essa ocorrência é justificada devido ao beneficiamento do RCC ter garantido o tamanho das partículas inferiores a 4,8mm. As amostras são compostas, predominantemente, por materiais que são classificados pelo tamanho das partículas como areia, possuindo, no entanto, uma pequena proporção correspondente a silte e argila.

Os ensaios de limites de consistência constataram que a amostra de agregado reciclado e a amostra do agregado natural não apresentam LL, LP e LC, fato este justificado pelas amostras serem caracterizadas como materiais do tipo arenosos.

A execução do ensaio de resistência à compressão simples com a amostra de agregado reciclado (RCC) de fase de acabamento e amostra de agregado natural (pó-de-pedra) permitiu conhecer a tensão de ruptura das amostras para 7, 14 e 28 dias de cura. A Figura 9 apresenta o gráfico “Tensão de Ruptura X Dias de Cura” para os corpos-de-prova moldados com RCC e com agregado natural.



**Figura 9: Resultados do ensaio de resistência à compressão simples.**

Analisando-se a Figura 9, observa-se que o máximo valor da resistência à compressão simples atingido pelo pó-de-pedra foi de 7,70MPa, enquanto o valor atingido pela amostra de agregado reciclado foi de 9,36MPa, valor esse 21,56% maior que o agregado natural. Entretanto, deve-se destacar que o concreto feito com RCC teve traço de 1:6:3, proporcionando um maior consumo de cimento por m<sup>3</sup>. A presença de materiais cimentícios (concreto, argamassa) na composição da amostra de RCC também pode explicar o maior valor atingido para resistência à compressão em comparação com o agregado natural.

Segundo a Figura 9, também verifica-se a influência provocada pelos dias de cura no ganho de resistência do corpos-de-prova ensaiados. Para o concreto com amostra de RCC, por exemplo, o valor da tensão de ruptura dos CP's rompidos em 28 dias (9,36MPa) sofreu um acréscimo de 45% em relação aos CP's rompidos em 7 dias (6,45MPa).

## CONCLUSÕES

A amostra de RCC coletada na fase de acabamento apresentou materiais como tijolo, argamassa, concreto, material misto, material miúdo, gesso e uma pequena parcela de outros materiais como cerâmica, papel, madeira, metal e vidro, em sua composição, segundo o ensaio de composição gravimétrica por separação tátil-visual realizado.

A amostra de RCC estudada e a amostra de pó-de-pedra apresentam características predominantes de material arenoso, não apresentando valores de LL, LP e LC, fato esse também verificado no ensaio de granulometria.

O ensaio de resistência à compressão simples executado na amostra de RCC e na amostra de pó-de-pedra apontou que o concreto rodado com agregado reciclado obteve uma resistência à compressão simples maior do que o concreto rodado com pó-de-pedra. Vale salientar que o concreto com RCC teve que ter seu traço modificado de 1:8:4 (concreto com pó-de-pedra) para 1:6:3, devido à alta absorção de água apresentada pelo resíduo da construção. Sendo assim, para não modificar a relação água cimento (0,6) foi necessária essa modificação no traço do concreto com agregado reciclado.

Materiais como tijolo e cerâmica encontrados na composição da amostra de RCC proporcionaram uma alta absorção de água do concreto com agregado reciclado. Porém, os materiais cimentícios (concreto, argamassa) que também formavam a amostra de RCC elevaram o valor de sua resistência à compressão simples;

De acordo com o que foi estudado, pode-se afirmar que a amostra de resíduo da construção civil se comportou de forma satisfatória, ou de melhor qualidade, nos ensaios realizados, apresentando características semelhantes ao agregado natural comumente utilizado em estacas de compactação. Tal comportamento foi obtido no âmbito de estudos laboratoriais. Deve ser estudada, como alternativa para reutilização de RCC, a aplicação desses resíduos em campo, na realização de estacas de compactação de argamassa.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço à FACEPE e ao CNPq pelo auxílio financeiro fornecido durante a realização desta pesquisa e ao Grupo de Pesquisa AMBITEC da Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE) pelo apoio no desenvolvimento da mesma.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7183, Solo – Determinação do Limite de Contração – Procedimento. Rio de Janeiro, 1982.
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181, Solo – Análise Granulométrica – Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
3. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459, Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180, Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
5. BUTTLER, A.M. Concretos com agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003, 199p.
6. CARNEIRO, F.P. Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e demolição na cidade do Recife. Dissertação (mestrado em engenharia urbana), programa de pós-graduação em engenharia urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005, 131p.
7. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
8. GUSMÃO FILHO, J.A. Fundações do conhecimento geológico à prática da engenharia. Editora Universitária, UFPE, Recife, 1998, 345p.
9. OLIVEIRA, M.J.E. Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem. Tese (doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2002.
10. ROCHA, J.C. & JOHN, V.M. Utilização de resíduos na construção habitacional. ANTAC, Coleção Habitar, V.4, 72-93p., Porto Alegre, 2003.