



UNIVERSIDADE FEDERAL DA CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



RELATÓRIO:
ESTÁGIO SUPERVISIONADO

DEC



**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA SERRAGEM DO
GRANITO NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO SEM
FUNÇÃO ESTRUTURAL**

PROF. DR. JOÃO BATISTA QUEIROS DE CARVALHO.
(ORIENTADOR)

FRANCINALDO DE OLIVEIRA QUEIROZ JÚNIOR
(ESTAGIÁRIO)

CAMPINA GRANDE – PB

Março, 2004



Biblioteca Setorial do CDSA. Junho de 2021.

Sumé - PB

ÍNDICE

1.0 – INTRODUÇÃO	2
2.0 – JUSTIFICATIVA	5
3.0 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 – Reciclagem de resíduos	6
3.2 – Aspectos Inerentes aos Impactos Ambientais na Industrialização das Rochas	10
3.2.1 – Aspectos Econômicos	10
3.3 – Aspectos Ambientais	11
3.4 – A Industrialização de Rochas Ornamentais	12
3.5 – Alternativas e Estudos Realizados Para o Aproveitamento dos Resíduos	13
4.0 – MATERIAIS E METODOLOGIA	14
4.1 – Materiais	14
4.2 – Métodos	15
4.2.1 – Ensaio de Caracterização	15
4.2.2 – Ensaio Físicos e Tecnológicos	16
4.2.3 – Confeção dos Blocos	17
5.0 – RESULTADOS E ANÁLISES	20
5.1 – Ensaio de Caracterização	20
5.1.1 – Agregado Miúdo	20
5.1.2 – Agregado Graúdo	21
5.1.3 – Cimento Portland CP II Z 32	23
5.2 – Resistência à Compressão Simples	24
6.0 – CONCLUSÕES	28
7.1 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA E REFERENCIADA	29

1.0 – INTRODUÇÃO

O parque industrial brasileiro se recente da necessidade do aumento da competitividade, para benefício da sociedade em geral. O mesmo com o setor produtivo do nordeste e, particularmente, do paraibano. Neste contexto, destacam-se as indústrias de construção civil e aquelas produtoras de materiais de construção. Este setor produtivo é típico daqueles de países em fase de industrialização incipiente: pouco competitivo porque apresenta baixa produtividade, oferece tímida diversificação de seus produtos acabados e ainda conserva elevados índices de desperdício e falta de compromisso com o meio ambiente.

Entre as conseqüências mais negativas do quadro tão desencorajador, destaca-se o já citado desperdício, no sentido mais amplo, associado a flagrantes manifestações de agressão ambiental:

- Desperdícios de resíduos;
- Desperdícios de materiais novos, nas próprias construções;
- Desperdícios de jazidas contaminadas por poluentes que as descaracterizam com fontes de insumos confiáveis;
- Desperdícios de insumos e produtos acabados, das próprias indústrias de materiais de construção;
- Desperdícios de produtos industriais diversos, passíveis de beneficiamento para o uso como insumos, na fabricação de materiais de construção, desde que quimicamente estáveis e passíveis de integrar compósitos cerâmicos.

Estas e outras formas não citadas de desperdício de materiais e insumos são responsáveis pela exploração exaustiva de fontes de recursos naturais e elevação dos custos de construção, o que repercute nos preços proibitivos das habitações e em obvio agravamento do "déficit" habitacional.

O desperdício nas indústrias de construção civil brasileira, de acordo com pesquisas feitas recentemente, fica em torno de 20% em massa, de todos os materiais trabalhados. Por outro lado, as perdas financeiras atingem índices não inferiores a 10% dos custos totais da obra.

SAUTEREY (1978), apresenta uma visão de que a construção civil é o ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, parece ser o mais indicado a absorver os resíduos sólidos. Sob este ponto de vista, pode-se ainda

associar a ele a necessidade de atender às exigências de manejo e do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos gerados pelas mais diversas atividades industriais que vêm sendo impostas principalmente nas últimas três décadas pelas leis ambientais, pelos movimentos ecológicos em todo o mundo, e pelas tarifas ambientais que vêm substituindo as convencionais. Neste mesmo aspecto algumas razões motivam, os países em geral, a preocupação com o reaproveitamento dos resíduos:

- Preocupação com o esgotamento das reservas confiáveis de matérias-primas;
- A preocupação com o meio ambiente, afetado pelo volume crescente de resíduos sólidos descartados;
- A necessidade de compensar o desequilíbrio econômico provocado pela alta do petróleo, notadamente naqueles onde a escassez de matérias-primas é mais gritante.

No Brasil, em particular, aos motivos supracitados, soma-se a premente necessidade de suprir o gritante "deficit" de moradias, ao mesmo tempo com o repovoamento dos campos e/ou desenvolvimento de áreas estratégicas ainda desabitadas. Em nosso País, portanto, mais do que nunca, urge realizar pesquisas de novas formas de redução dos custos de construção civil e, ao que nos parece, a concepção de insumos, materiais e processos alternativos, a partir de aproveitamento de "sucatas" de resíduos sólidos estáveis, é o caminho mais curto para alcançar tal objetivo, com múltiplas vantagens de caráter sócio-econômico.

Desta forma setor de industrialização de mármore e granito precisam urgentemente de gerenciamento e maior conscientização da responsabilidade de se fazer um trabalho a longo prazo, com o respeito ao meio ambiente e a comunidade.

As indústrias responsáveis pelo beneficiamento de rochas ornamentais, pela falta de gerenciamento adequado e em virtude da quantidade crescente de resíduos gerados, vêm causando enormes preocupações às entidades empresariais, governamentais e ambientalistas.

Estes resíduos são constituídos geralmente de água, gralha de aço ou granito, cal ou substituto e rocha moída, acumulando-se nos depósitos e sendo lançados no meio ambiente sem nenhum cuidado prévio, contaminando assim solos e/ou águas.

A Paraíba, especialmente a cidade de Campina Grande, possui um grande potencial no setor de industrialização de rochas ornamentais, e consciente da

problemática ambiental causada pela deposição inadequada do rejeito proveniente do processo de beneficiamento das rochas graníticas, a UFCG vem desenvolvendo vários estudos direcionados ao aproveitamento destes rejeitos de granito, seja na incorporação de argamassas de assentamento, como “filler” na produção de misturas asfálticas, na confecção de tijolos de sílica-cal, dentre outros mais. É importante ressaltar que o aproveitamento destes rejeitos de granito deve ser encarado como atividade complementar, com a finalidade de contribuir para a redução de custos finais do produto, bem como auxiliar no processo de minimização dos efeitos deletérios causados ao meio ambiente, pela deposição inadequada dos resíduos.

Este projeto tem como objetivo avaliar as vantagens e desvantagens da utilização do resíduo da serragem do granito de indústrias da Paraíba como matéria prima em substituição de uma parcela do agregado miúdo convencional (areia) na confecção de blocos pré-moldados de concreto sem função estrutural para uso na construção civil, buscar-se-á então, através de ensaios de resistência a compressão simples e absorção de água, obter blocos alternativos dotados dos parâmetros mínimos exigidos pelas normas da ABNT conforme apresentado na quadro a seguir.

Quadro I – Valores admissíveis para a resistência à compressão e absorção de água de blocos de vedação

Resistência à compressão (MPa)		Absorção de água (%)	
Individual	Média	Individual	Média
2,0	2,5	15	10

2.0 – JUSTIFICATIVA

A indústria de mármore e granito responsável pelo beneficiamento de rochas ornamentais tem produzido quantidades crescentes de resíduos, o que tem preocupado as entidades ambientalistas, governamentais e empresariais. A maioria das indústrias de extração e beneficiamento de rochas ornamentais lança seus resíduos, diretamente nos ecossistemas, sem serem submetidos a qualquer processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes presentes nestes despejos, que são poluentes e nocivos à preservação do ambiente e, portanto, da manutenção da vida, quando presentes em teores acima dos toleráveis (SILVA, 1998).

Assim, pode-se ter a contaminação da água, quando lançados diretamente nos recursos hídricos. Caso sejam lançados no solo, podem ser depositados em locais inadequados, sem a devida proteção. Este, além de contaminar o próprio solo, possivelmente pode alterar as condições naturais do subsolo e do lençol de água subterrânea.

Desta forma surge a necessidade urgente de um gerenciamento, conscientização e responsabilidade principalmente dos geradores para que possa ser dado um destino aos seus resíduos diminuindo a exploração dos recursos naturais através da utilização de materiais alternativos, e a degradação do meio ambiente pelos resíduos gerados, lembrando-se sempre do lado social, ou seja, procurando desenvolver novos produtos com maior acessibilidade para os mais pobres. Como alternativa este projeto optou pela reciclagem que vem se consolidando com um importante e sólido ramo da engenharia civil com a formação de um mercado próprio para o material reciclado.

3.0 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – Reciclagem de resíduos

É necessário reciclar para que seja preservada os recursos naturais não renováveis, e que sejam elaborados leis ambientais severas que dificultem a fabricação de produtos maléficis ao meio ambiente, como também é viável seguir a orientação dos ambientalistas para a redução, reciclagem e a reutilização dos resíduos como um todo, evitando assim o sistema de descartes. Enquanto este objetivo ainda não é totalmente possível, as empresas devem pelo menos evitar a geração de resíduos e optar por programas de reciclagem, como forma de criar produtos com vantagens que justifiquem a produção e aplicação do produto reciclado. Estes produtos, como um todo, apresentam dificuldades perante o mercado consumidor, e precisa de maior atenção perante os pesquisadores por fugirem aos padrões implantados pelo sistema.

Pesquisas sobre reciclagem de resíduos industriais vêm sendo desenvolvidas em todo mundo. No Brasil diversos pesquisadores tem intensificado estudos sobre este assunto. A reciclagem pode ser classificada como primária, secundaria ou reaproveitamento.

Reciclagem primária → Pode ser conceituada como sendo um “re-emprego ou urna reutilização de um produto para mesma finalidade que o gerou” (GPI,1996, p.2).

Reciclagem secundária → Pode ser definida como sendo um “re-emprego ou reutilização de um produto para uma finalidade que não a mesma que o gerou”. (GNR, 1996, p.3).

Reaproveitamento → O resíduo pode ser entendido, como sendo uma forma de utilizá-lo sem que haja necessidade de submetê-lo a qualquer processo de beneficiamento, tal como britagem ou moagem (LEVY, 1997).

A reciclagem de resíduos para produção de novos materiais segundo ENBRI (1994), permitem:

- Redução do volume de extração de matérias-primas;
- Conservação de matérias-primas não renováveis;
- Redução do consumo de energia;

- Menores emissões de poluentes, com o CO₂;
- Melhoria da saúde e segurança da população.

A reciclagem e a reutilização de resíduos como novos materiais ultrapassam então o contexto da análise de resistência mecânica e estabilidade dimensional de um novo produto e deve ser inserida em um contexto mais geral de avaliação ambiental.

A reciclagem de resíduos pode ser objeto da ação de profissionais com posições bem diferentes: a) a formulador de políticas de gestão ambiental devem ser interessados em selecionar quais os resíduos mais importantes, tanto do ponto de vista da quantidade quanto da agressividade ambiental; b) a pesquisador ou o formulador de políticas públicas, deve-se interessar em buscar dentre os resíduos, existentes na sua região, urna alternativa adequada para a produção de um produto específico e c) o gerador de um resíduo específico deve buscar alternativas para reciclagem.

Segundo PONTES (2000), a reciclagem e o aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção é de fundamental importância para controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos de atividades industriais e urbanas, tais como: mineração, metalurgia, química, construção civil e limpeza urbana.

Alguns resíduos apresentam propriedades que permitem a sua utilização em substituição parcial ou total da matéria-prima, utilizada com o insumo convencional. O aproveitamento destes resíduos na construção civil requer uma avaliação dos aspectos econômicos e tecnológicos, bem como, do risco de contaminação ambiental que o uso de matérias com resíduos incorporados poderá ocasionar durante o ciclo de vida do material e após a sua destinação final.

A Figura I apresenta um esboço de hierarquia para seleção das alternativas de reciclagem. O ambiente, o mercado e a tecnologia são três variáveis subordinadas à reciclagem.

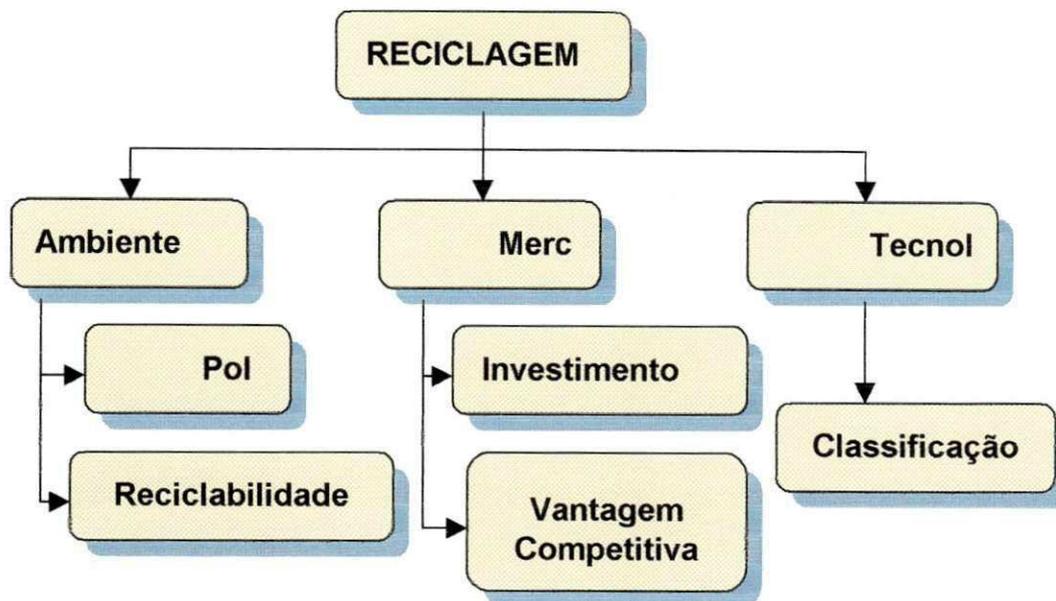


Figura I – Modelo hipotético de hierarquia para seleção das alternativas para reciclagem (JOHN, 2000 *apud* Neves, 2002).

A reciclagem vislumbra os seguintes benefícios: eliminação das despesas com descartes, eliminação dos pontos de deposição - focos de problemas - melhorias das condições de insalubridade e visuais no entorno das cidades produtoras, redução da exploração de agregados naturais - com preservação das áreas de terra com potencial produtivo, instalação de nova atividade produtiva — geração de empregos, mudança cultural na cidade e região com valorização das atividades sustentáveis e fontes de novos recursos para as indústrias.

A Figura III apresenta a hierarquia da disposição de resíduos de construção e demolição, onde se pode avaliar o nível de impacto causado ao meio ambiente com a disposição destes resíduos.

A redução da geração de resíduos se mostra como a alternativa mais eficaz para a diminuição do impacto ambiental. Esta seria também a melhor alternativa do ponto de vista econômico. A simples movimentação de materiais de uma aplicação para outra, ou seja, a reutilização, também se apresenta como bom recurso na diminuição do impacto, pois esta decisão utiliza o mínimo de processamento e energia. Depois, vem a reciclagem dos resíduos, ou seja, a transformação destes em novos produtos. No plano inferior da hierarquia encontram-se: a compostagem, que consiste basicamente na transformação da parte orgânica em húmus para o tratamento do solo;

a incineração, que pode extrair energia dos materiais sem gerar substâncias tóxicas, quando é cuidadosamente operacionalizada; a por fim o aterramento.



Figura II – Hierarquia da disposição de resíduos de construção e demolição

No caso do concreto, seu uso como agregado reciclado oferece o máximo nível de reutilização constitui a forma mais fácil de atingir o fechamento do ciclo de vida deste material (BARRA e VAZQUEZ, 1997).

É oportuno ressaltar alguns índices do impacto causado pelas atividades do setor de construção, quando o assunto é o consumo de recursos e os danos causados ao meio ambiente. Para se ter idéia da dimensão dos problemas causados ao meio ambiente com as atividades da construção foram levantados alguns dados bastante interessantes. O setor é responsável, por exemplo, pelo consumo de 20 a 50 % dos recursos naturais extraídos (ALAVEDRA et al., 1997, SJOSTROM, 1997). O consumo dos agregados naturais varia de 1 a 8 toneladas/habitante.ano. Além dos recursos extraídos, deve-se mencionar a geração da poluição, como emissão de poeira e gás carbônico, principalmente durante a produção do cimento (JOHN, 1998a, PENTALLA, 1997). Segundo GOLDSTEIN (1995), anualmente é produzido no mundo 1 tonelada/habitante de concreto, mas apesar deste ser um produto que consome menor quantidade de energia quando comparado ao aço, ou ao plástico, sua produção utiliza cimento que é atualmente considerado como um dos processos de manufatura com maior consumo de energia. São necessários entre 11 e 15 % do cimento numa mistura típica do concreto. De acordo com SIJÖSTRÖM (2000), o setor da construção na

Comunidade Européia consome aproximadamente 40 % do total de energia e é responsável por 30 % da emissão de CO₂ na atmosfera.

ENBRI, citado por JOHN (1996), constatou em seus estudos que 4,5 % do consumo total da energia é gasto na construção civil e 84 % deste, na fase de produção de materiais. JOHN (2000) estima que o setor de construção civil brasileiro consome cerca de 210 milhões de toneladas/ano de agregados naturais somente para produção de concretos e argamassas. Outro ponto que deve ser levantado quando se fala em impacto ambiental causado pela construção civil, é a geração de resíduos sólidos, que pode ser até duas vezes maior que o volume do lixo urbano gerado (JOHN, 1998a).

3.2 – Aspectos Inerentes aos Impactos Ambientais na Industrialização das Rochas

Segundo SILVA (1998), todo processo de industrialização constitui-se num dos componentes principais da poluição ambiental, podendo originar grandes conflitos, evitáveis quando tomadas providências que promovam o desenvolvimento harmônico e sustentável.

3.2.1 – Aspectos Econômicos

O Brasil é um grande possuidor de reservas de mármore e granitos, e assim sendo é imprescindível que ele crie suas metas para o setor de rochas ornamentais, através da mudança de conceitos ultrapassados e da implantação de uma política que concilie o aproveitamento racional dos recursos naturais, com o desenvolvimento de novas tecnologias.

Neste contexto, é necessário que as indústrias de rochas ornamentais tenham consciência do papel relevante que deverão exercer, dispondo das condições necessárias e suficientes para o seu posicionamento, de forma competitiva nos cenários nacional e internacional, com tecnologia moderna e apropriada. É necessário também, que elas busquem aumentar a sua produtividade, reduzindo os custos e os desperdícios gerados pelos fatores de mão-de-obra, diminuindo assim os impactos causados ao meio ambiente.

A utilização de rochas ornamentais é muito grande, no cotidiano da construção civil. Desta forma, a confecção de materiais alternativos, tendo-se como constituintes os resíduos gerados nas indústrias de transformação de rochas, poderá promover o aparecimento de novas oportunidades de trabalho e renda, essenciais ao processo de desenvolvimento.

Sendo assim, diante da grande disponibilidade de resíduos provenientes das indústrias de transformação de rochas, e das diversas oportunidades de emprego e renda que a utilização destes resíduos na confecção de materiais alternativos poderá gerar, torna-se cada vez mais necessário o incentivo e o desenvolvimento de pesquisas tecnológicas, na qual esta se insere, que promovam e busquem constantemente o beneficiamento e melhoria da qualidade de vida do homem e do meio ambiente que o cerca.

3.3 – Aspectos Ambientais

Segundo o IBRAM (1984), o termo meio ambiente deve ser entendido como sendo todos os aspectos relacionados à flora, à fauna e ao ser humano. Portanto, ele inclui os aspectos ligados ao ambiente natural e a sua interação com os ambientes construídos. Assim, esta descrição abrange todos os componentes da terra – o solo, a água, o ar e todas as camadas da atmosfera; as construções (estradas, rodovias, casas, edifícios, etc.), e atividades ligadas à recreação.

A degradação do meio ambiente causada pela implantação e produção industrial, com corrente uso dos recursos naturais ou processo de industrialização, pode gerar impactos nocivos sobre a saúde e sobre as condições sócio-econômicas da população.

Como consequência dos processos de industrialização são gerados resíduos (sólidos, líquidos ou gasosos). Esses subprodutos, quando descarregados sem quaisquer cuidados, representam um risco em potencial à saúde pública e ao meio ambiente.

Deste modo, as atividades industriais são, por sua natureza, transformadoras dos componentes dos ecossistemas, sendo, portanto, fontes de poluição difusa, constituídas, em grande parte, de material particulado (FELLENBERG, 1980).

Neste contexto enquadra-se a maioria das indústrias de extração e beneficiamento de rochas ornamentais, pois os resíduos e rejeitos gerados nesse

processo, muitas vezes são lançados diretamente nos ecossistemas, sem serem submetidos a qualquer processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes presentes nestes despejos, que são poluentes e nocivos à preservação do ambiente e, portanto, da manutenção da vida, quando presentes em teores acima dos toleráveis (SILVA, 1998).

Com isso, pode-se ter a contaminação da água, quando lançados diretamente nos recursos hídricos. Caso sejam lançados no solo, podem ser depositados em locais inadequados, sem a devida proteção. Este, além de contaminar o próprio solo, possivelmente pode alterar as condições naturais do subsolo e do lençol de água subterrânea.

3.4 – A Industrialização de Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais e de revestimento, podem ser extraídos em forma de blocos, transformados em placas, cortadas e beneficiadas através de esquadreamento, polimento, lustro, etc.

Seus principais campos de aplicação incluem, tanto as peças isoladas usadas para moldar esculturas, mesas, balcões e arte funerária em geral, como as em edificações, destacando-se, neste caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, etc. Cabe destacar ainda, a substituição da madeira e das estruturas de concreto nas construções por essas rochas (FIEC, 1992).

A industrialização destas rochas tem alcançado um desenvolvimento jamais visto no Brasil, sendo comercializadas no país e no exterior. Em linhas gerais, esta industrialização pode ser entendida pelo desenvolvimento de diferentes fases, que podem ser assim resumidas: os estudos de pesquisa e extração, necessários à obtenção dos blocos; esses serão transformados em chapas nas serrarias, constituindo o desdobramento ou serragem; posteriormente, serão submetidas aos processos de acabamento para obtenção do produto final.

Estas operações por sua vez, geram resíduos em abundância, especialmente a fase de desdobramento das rochas que gera o resíduo mais fino e mais poluente, e que constitui, em essência, o objeto de estudo deste projeto de pesquisa.

3.5 – Alternativas e Estudos Realizados Para o Aproveitamento dos Resíduos

Através de dados estatísticos fornecidos pela Poligram S.A, estima-se, que o Brasil, terceiro produtor de rochas ornamentais, tenha uma produção de 45 milhões de toneladas com taxa de crescimento de 6% ao ano. O volume total de resíduo, portanto, torna-se bastante significativo, quando se constata que, produzindo-se chapas de 2cm de espessura, 20 a 25% do bloco é transformado em resíduo. Isto tem motivado representantes de várias indústrias do setor a procurarem um processo que o torne um produto utilizável e que não gere danos ao meio ambiente.

Neste sentido, pode-se vislumbrar o aproveitamento dos rejeitos na forma de cacos de rocha da extração, da serraria e marmoraria de onde seriam beneficiados sobre a forma de britas ou pó de pedra, ou ainda como agregados em produtos sintéticos. Também, as granalhas e lâminas, sem utilidade para o processo de serragem, podem ser vendidas como sucata para as indústrias siderúrgicas, ao invés de serem simplesmente descartadas em lugares totalmente inadequados (SILVA, 1998).

O resíduo da industrialização do mármore é bastante solicitado para fabricação de papel, na preparação de produtos farmacêuticos (como, aspirina) e também como corantes de certos materiais da construção civil, em fundições, e como substituto ao carbonato de sódio (ROCHAS DE QUALIDADE, 1990).

Os Departamentos de Engenharia Civil, Materiais e Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba vêm desenvolvendo pesquisas desde 1997 com o rejeito da serragem de blocos de granito nas áreas de construção civil, como: argamassas, tijolos maciços sem queima, elementos de alvenaria e revestimentos cerâmicos com queima; na área rodoviária; na área agrícola como corretivo de solos e, recentemente, na melhoria de solos para revestimentos primários e materiais de enchimentos em concretos asfálticos (ARAÚJO, 2002).

Por tudo o que foi exposto neste item, percebe-se que são vários os campos e alternativas existentes para o aproveitamento do resíduo da serragem de granito. É necessário apenas um maior incentivo e um maior intercâmbio entre empresas e entidades de pesquisa, para que os estudos pertinentes a este assunto caminhem de maneira progressiva.

4.0 – MATERIAIS E METODOLOGIA

4.1 – Materiais

Cimento Portland → Será utilizado um cimento do tipo CP-II-Z 32, da marca ZEBU, existente no comércio local de Campina Grande – PB.



Figura III – Cimento CP II –Z 32 Utilizado

Agregado Miúdo (Areia) → É o material granular com pelo menos 95%, em massa, de grãos que passa na # 4,8mm, conforme a NBR NM-ISO 3310 Parte 1 e 2. Será utilizada uma areia, proveniente do rio Paraíba, obtida sem peneiramento. Buscou-se uma areia de granulometria média e teor de material fino propício para pré-moldados a fim de se obter melhor superfície de acabamento aos blocos pré-moldados. Desta forma procurou-se uma areia que tivesse um teor não inferior a 50% de material retido nas peneiras (#) 0,15mm e 0,30mm.



Figura IV – Areia Utilizada

Agregado Graúdo (Cascalho) → É o material granular com pelo menos 95%, em massa, de grãos retidos na # 4,8mm, conforme a NBR NM-ISO 3310 Parte 1 e 2. Será utilizado cascalho, proveniente das pedreiras nas mediações de Campina Grande. Este agregado é lavado para eliminar a porção fina (pó de pedra) aderente às superfícies dos grãos. Em geral, esse pó aumenta a demanda por água na mistura, o que prejudica a resistência mecânica.



Figura V – Cascalho Utilizado

Resíduos da Serragem do Granito → O resíduo da serragem de granito será coletada da Empresa FUJI S.A. Mármore e Granitos, Alça Sudoeste, S/N, Distrito Industrial, Ligeiro, Campina Grande – PB. E segue as prescrições da NBR 10007/87 – “Amostragem de Resíduos” que fixam as condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de resíduos sólidos.

Água → Foi utilizada água potável proveniente do açude de Boqueirão, da cidade de Boqueirão no estado da Paraíba, fornecida pela concessionária local CAGEPA (Companhia de água e Esgotos da Paraíba).

4.2 – Métodos

4.2.1 – Ensaios de Caracterização

Caracterização Granulométrica → É a distribuição percentual, em massa, das varias frações dimensionais de um agregado em relação à amostra total. É expressa pela porcentagem individual ou acumulada de material que passa ou fica retido nas peneiras da série normal. As amostras serão analisadas segundo Normas da NBR 7217/82 – “Agregado – Determinação da Composição Granulométrica”, que prescreve o método para determinação granulométrica de agregado miúdo e graúdo, destinados ao preparo do concreto.

Massa Unitária → É a massa da unidade de volume aparente, ou seja incluindo no volume os vazios entre os grãos. As amostras serão submetidas à determinação da massa unitária ou massa específica aparente, de acordo com as recomendações da NBR 7251/82 – “Agregado em estado Solto. Determinação da Massa Unitária”.

Massa Específica Real → É a massa da unidade de volume, excluindo desde os vazios permeáveis e os vazios entre os grãos. Os ensaios de massa específica real

serão realizados segundo as Normas da ABNT, NBR 9776/87 – “Método de Ensaio para Determinação da Massa Específica do Agregado Miúdo - Frasco de Chapman” e NBR 9937/86 – “Determinação da Absorção e da Massa Específica do Agregado Graúdo”.

Teor de Argila em Torrões → São partículas presentes nos agregados susceptíveis a serem desfeitas pela pressão dos dedos polegar e indicador. Os ensaios de determinação do teor de argila em torrões será realizado segundo a norma da ABNT NBR 7218

Teor de Materiais Puerulentos → São as partículas minerais com dimensões inferior a 0,075 mm, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados. Os ensaios de determinação do teor de materiais pulverulentos será realizado segundo a norma da ABNT NBR 7129

4.2.2 – Ensaio Físicos e Tecnológicos

Confecção dos Blocos → A moldagem dos blocos será efetuada em máquina manual vibratória modelo MBM-0,5; em consonância com a norma ABNT(11). Os blocos terão dimensões 390 mm x 90 mm x 200 mm (comprimento, largura e altura, respectivamente), e serão calculados com precisão de 0,5 mm e posteriormente submetidos ao processo de cura em câmara úmida por períodos de 7, 28 e 60 dias.

Estudo de dosagem → Neste trabalho não foi feito um estudo de dosagem, pois foi utilizado resultado segundo CARVALHO trabalho este que utiliza entulho da construção civil, no qual determinou-se relação entre agregados de 50% de areia e 50% de cascalho e também um traço de 1:6 na primeira fase, e com aprimoramento dos equipamentos utilizados na moldagem dos blocos foi possível utilizar um traço 1:8. Desta forma optou-se trabalhar na fase inicial com os traços 1:4, 1:6 e 1:8 em massa. As proporções do resíduo de granito incorporado também foram determinadas anteriormente na tese de doutorado de NEVES

Fator água cimento → O fator água cimento foi determinado experimentalmente. Desta forma partiu-se do fator água/cimento determinado segundo CARVALHO, para o

traço convencional. Para cada composição de incorporação foi experimentado um f_a/c ligeiramente superior e um ligeiramente inferior, escolhendo aquele que após sete dias de cura obtivesse a maior resistência a compressão simples.

Resistência a Compressão Simples – f_c → A resistência à compressão simples dos blocos será determinada segundo a Norma da ABNT NBR – 7184/91, para cada traço e tempo de cura estudado. Neste ensaio determina-se a carga de ruptura do bloco. A tensão de ruptura é razão entre a carga de ruptura e área do bloco. Para a depuração dos resultados de resistência à compressão axial (f_c) obtido para cada composição foi aplicado o critério de “Chauvenet”.

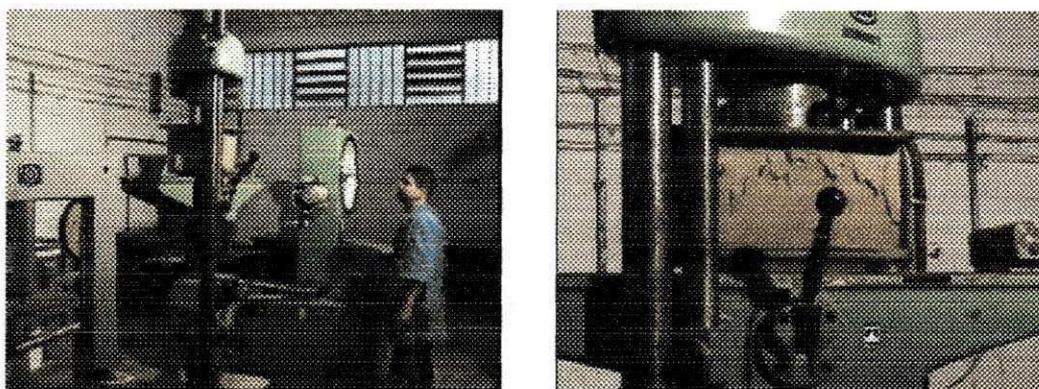


Figura VI – Máquina utilizada para romper os blocos

Absorção → A absorção dos blocos será determinada segundo a Norma da ABNT, NBR 10836/89, para cada traço e tempo de cura estudado.

4.2.3 – Confeção dos Blocos

Para moldagem dos blocos há necessidade de se fazer um controle de qualidade sobre os materiais utilizados e também os processos de fabricação dos tijolos buscando minimizar perdas de materiais e também trabalhar como materiais homogêneos.

Desta forma a areia e cascalho são secas em estufa a 105° C e então armazenadas em tonéis de 800 litros aproximadamente buscando mantê-los sempre com mais de 50% do seu volume. Estes tonéis são em seguida fechados para evitar o ganho de umidade por parte dos materiais

As amostras do resíduo de granito coletada são armazenadas em sacos plásticos e colocada nos tonéis fechados.

Todas as amostras totais de areia, cascalho e entulho foram armazenadas em um pátio vizinho ao laboratório de Solos III da UFCG / Campus I, e protegidos por lonas plásticas para evitar o contato direto com a umidade relativa do ar, perda de material devido às chuvas e ao vento, ou contaminação por outros materiais (folhas de árvore, lixo).

Para confecção dos blocos uma seqüência de etapas é seguida conforme descrito abaixo:

- Pesagem;
- Mistura na betoneira;
- Moldagem na vibro-prensa;
- Cura na câmara umida
- Cura nos tanques;
- Capeamento com uma pasta de cimento e água.

Depois de pesados os materiais são colocados na betoneira do de maior dimensão para o de menor com pouco acréscimo de água, em seguida o aglomerante (cimento) e por ultimo o restante da água é adicionado aos poucos. É necessário fazer uma primeira mistura em quantidade menor com o mesmo traço afim de que as paredes da betoneira não fiquem secas o que poderia absorver parte da água destinada a hidratar o cimento.

Feita a massa que dura em torno de 10 minutos esta é levada em carrinhos de mão para a vibro-prensa, onde são moldados 3 blocos de cada vez, o tempo de vibração varia de 30 a 50 segundos. É importante que o tempo de vibração não seja muito grande o que pode impossibilitar a desmoldagem devido a uma grande compactação. Deve-se tomar cuidados para que a massa seja utilizada no período máximo de 30 minutos. Procurou-se também evitar que ela ficasse exposta à ação do sol e do vento, pois é necessário evitar a evaporação da água na mistura. A falta de água trará prejuízos a hidratação dos grãos de cimento e conseqüentemente ao ganho de resistência a compressão ao longo do tempo.

Depois de desmoldados, os blocos são levados para câmara úmida onde permanecem por um período de 16 a 24 h com temperatura $T=23^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa $UR>95\%$. Após este período, os blocos foram imersos em tanque com água, dando

continuidade ao regime de cura até as respectivas idades de controle (7 e 28 e 60 dias).

A cada idade de controle preestabelecida selecionou-se os melhores blocos que serão submetidos a ensaios de compressão, estes são capeados com uma pasta composta de cimento e água, procurando obter no bloco superfícies bem planas antes de ser submetido aos ensaios de resistência a compressão simples. A superfície plana é importante para evitar concentração de carga sobre o bloco durante o ensaio, o que traria prejuízos aos resultados. As Figuras VII, VIII e IX abaixo mostram a câmara úmida, o tanque utilizado na cura dos blocos e a maquina vibro-prensa utilizada na moldagem.



Figura VII – Máquina utilizada na moldagem



Figura VIII – Câmara úmida

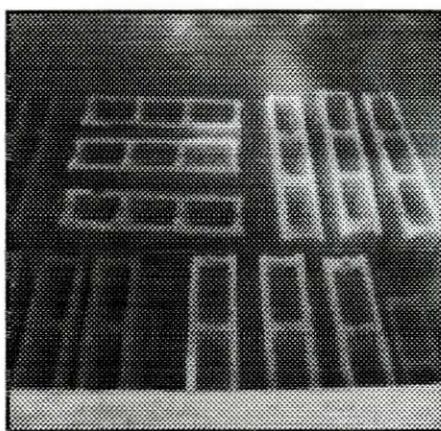


Figura IX – Blocos imersos no tanque de cura

5.0 – RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 – Ensaio de Caracterização

5.1.1 – Agregado Miúdo

Composição Granulométrica

Observe a tabela abaixo com os resultado do ensaio de granulometria para a areia utilizada nesta pesquisa.

Tabela I – Composição granulométrica do agregado miúdo

# (mm)	Material Retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
9,5	0,19	0,19	99,81
6,3 *	0,54	0,73	99,27
4,8	0,47	1,20	98,80
2,4	2,29	3,49	96,51
1,2	5,56	9,05	90,95
0,6	18,95	28,00	72,00
0,3	38,56	66,56	33,44
0,15	26,23	92,79	7,21
Resto	7,21	100,00	0,00

Através da composição granulométrica pode-se determinar o módulo de finura da mesma.

O módulo de finura é definido como a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal (76; 38; 19; 9,5; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3 e 0,15 em mm) dividido por 100.

* Série intermediária de peneiras (64; 50; 32; 25; 12,5; 6,3) mm

$$MF = (0,19 + 1,20 + 3,49 + 9,05 + 28,0 + 66,56 + 92,79)/100$$

$$MF = 2,02$$

De acordo com PETRUCCI a areia utilizada possui módulo de finura menor que 2,40 sendo então classificada como **areia fina**.

Caracterização do agregado

A tabela abaixo apresenta os resultados dos demais ensaios conforme descritos no item 4.2.1.

Tabela II – Características físicas do agregado miúdo

Características	Resultado
Massa Específica	2558 kg/m ³
Massa Unitária – estado solto	1512 kg/m ³
Massa Unitária – estado compactado	1645 kg/m ³
Dimensão Máxima	2,4 mm
Módulo de finura	2,02
Teor de argila em torrões	1,28%
Impurezas Orgânicas	
Teor de materiais pulverulentos	

De acordo com PETRUCCI o teor máximo permitido de argila em torrões é de 1,5%. Desta forma a areia utilizada satisfaz as exigências da norma.

5.1.2 – Agregado Graúdo

Composição Granulométrica

Observe a tabela abaixo com os resultado do ensaio de granulometria para a o agregado graúdo utilizado nesta pesquisa.

Tabela III – Composição granulométrica do agregado graúdo

# (mm)	Material Retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
19,0	0,00	0,00	100,00
12,5	0,50	0,50	99,50
9,5	0,51	1,01	98,99
6,3	22,62	23,63	76,37
4,8	26,55	50,18	49,82
2,4	29,93	80,11	19,89
1,2	7,20	87,31	12,69
0,6	4,48	91,79	8,21
0,3	3,22	95,02	4,98
0,15	2,66	97,68	2,32
Resto	2,32	100,00	0,00

Através da composição granulométrica pode-se determinar o diâmetro máximo do agregado graúdo.

Diâmetro máximo de um agregado corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira de série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

$$D_{MAX} = 9,5 \text{ mm}$$

De acordo com PETRUCCI este agregado é classificado como brita é classificada como uma **brita 0** (cascalho) possuindo uma porcentagem retida igual ou imediatamente superior a 95 % entre as peneiras 9,5 mm e 4,8 mm.

Caracterização do agregado

A tabela abaixo apresenta os resultados dos demais ensaios conforme descritos no item 4.2.1.

Tabela IV – Características físicas do agregado graúdo

Características	Resultado
Massa específica seca	2628 kg/m ³
Massa específica saturada superfície seca	2661 kg/m ³
Absorção	0,91%
Massa Unitária – estado solto	1416 kg/m ³
Massa Unitária – estado compactado	1738 kg/m ³
Dimensão Máxima	9,5 mm
Módulo de finura	5,27

5.1.3 – Cimento Portland CP II Z 32

A massa específica do cimento utilizado é de $2,94 \text{ g/cm}^3$ e o Blaine é $3.845 \text{ cm}^2/\text{g}$

Caracterização do cimento Portland CP II Z 32

A caracterização do cimento apresenta-se abaixo na Tabela V

Tabela V – Caracterização do cimento CP II Z 32

	Especificações	Resultados %
Perda ao fogo	$\leq 6,5$	6,14
SiO ₂	-	21,19
Al ₂ O ₃	-	7,12
Fe ₂ O ₃	-	2,17
CaO	-	27,3
MgO	$\leq 6,5$	4,69
SO ₃	$\leq 4,0$	2,35
CaO livre	-	1,24
Resíduo insolúvel	$\leq 16,0$	8,05
Finura malha Nº 200	$\leq 12,0$	3,8

5.2 – Resistência à Compressão Simples

Nesta fase da pesquisa foram moldados todos traços convencionais, ou seja, 1:4, 1:7 e 1:8 para as idades de 7, 28 e 60 dias. Em seguida foi determinado o fator água/cimento para cada composição do resíduo de granito (5%, 10%, 15% e 20%). Observe os gráficos abaixo com resultados.

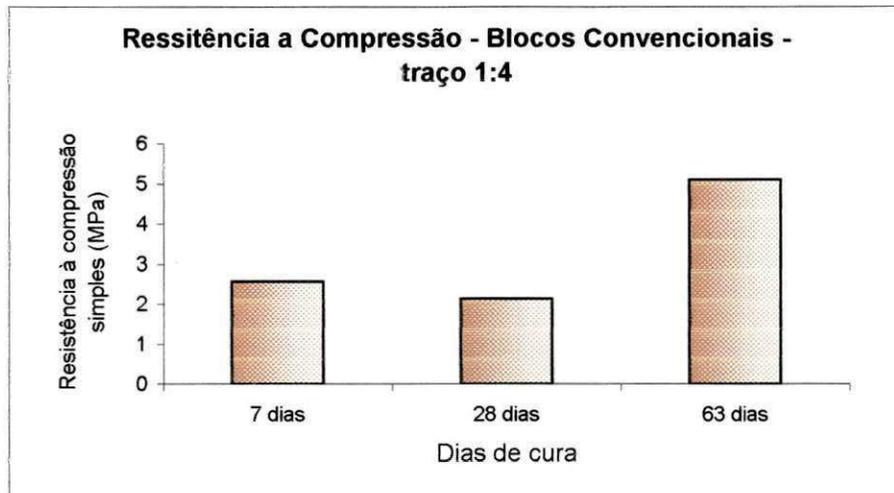


Gráfico I – Traço convencional 1:4 com $f_a/c = 0,37$

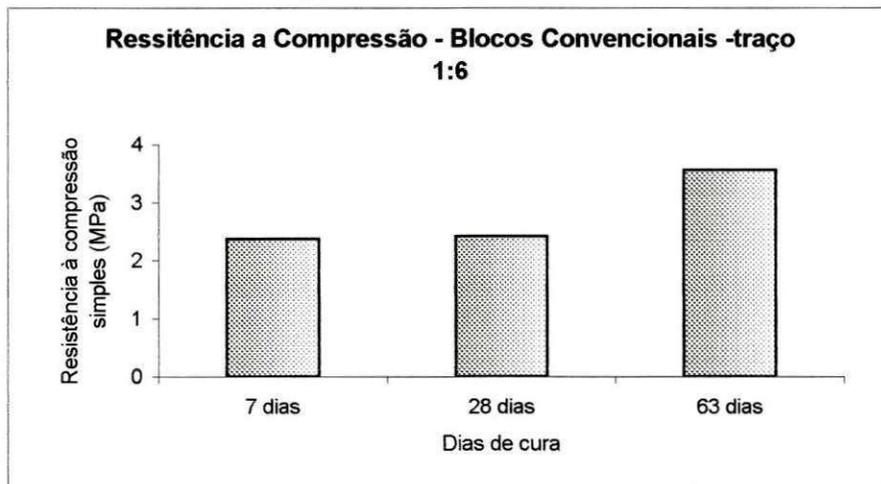


Gráfico II – Traço convencional 1:6 com $f_a/c = 0,49$

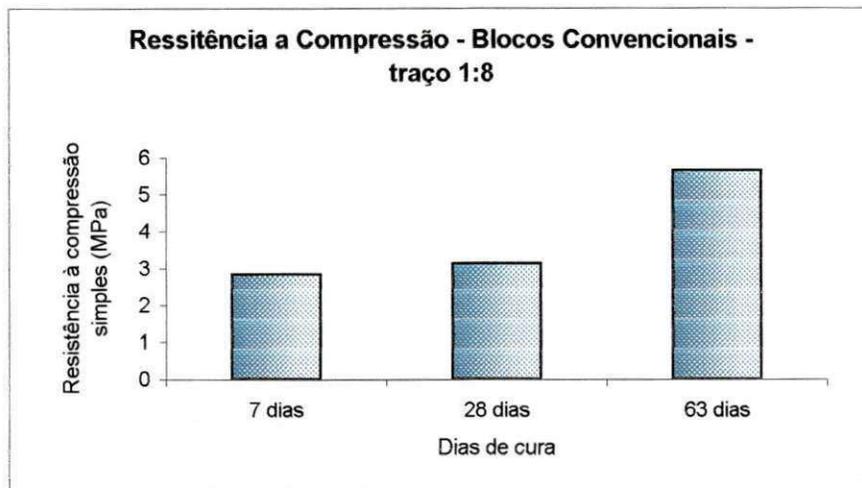


Gráfico III – Traço convencional 1:8 com $f_{a/c} = 0,67$

De acordo com os gráficos observados acima pode-se perceber que a medida que o tempo de cura aumenta, há uma grande ganho de resistência principalmente após os 28 dias de cura, este aumento ocorre devido ao progresso da hidratação do cimento no intervalo de tempo considerado. Este fator de crescimento pode depender de vários fatores, tais como: relação água / cimento, tipo de cura, tipo de adensamento. Os gráficos abaixo mostram a determinação do $f_{a/c}$ para os diversos traços e composições de resíduo.

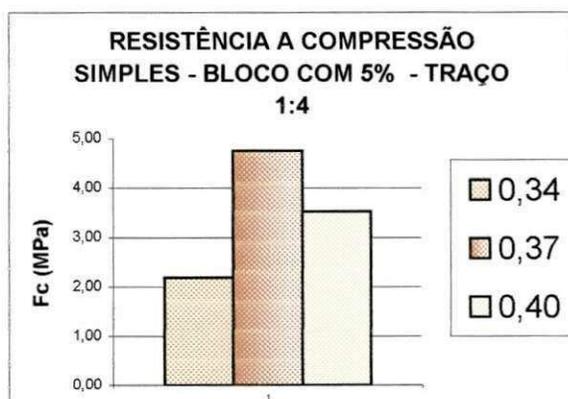


Gráfico IV – Traço 1:4, 5% de resíduo

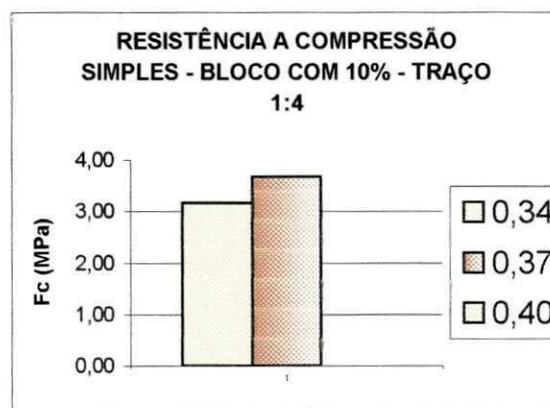


Gráfico V – Traço 1:4, 10% de resíduo

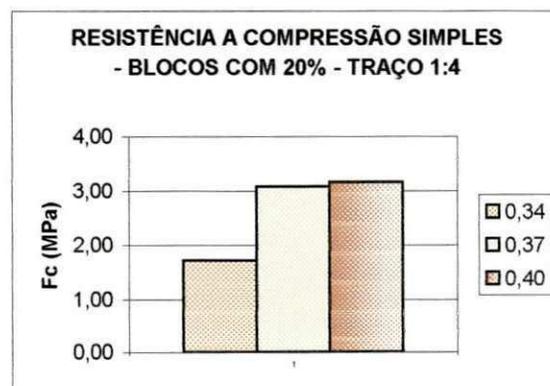
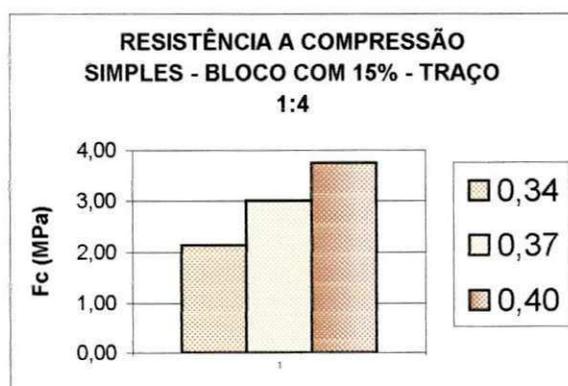


Gráfico VI – Traço 1:4, 15% de resíduo

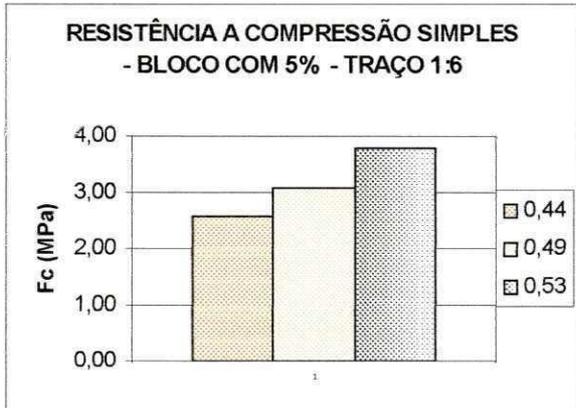


Gráfico VII – traço 1:4, 20% de resíduo



Gráfico IX –Traço 1:6,5% de resíduo

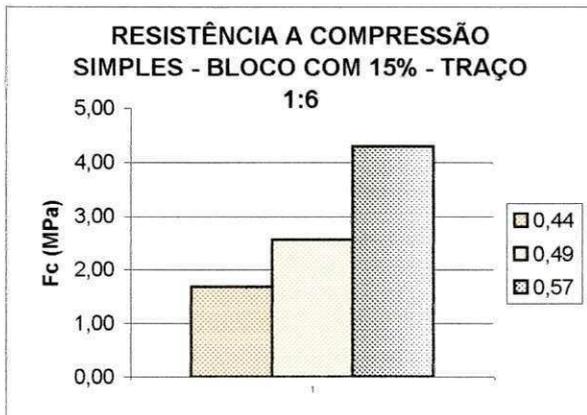


Gráfico X – Traço 1:6, 10% de resíduo

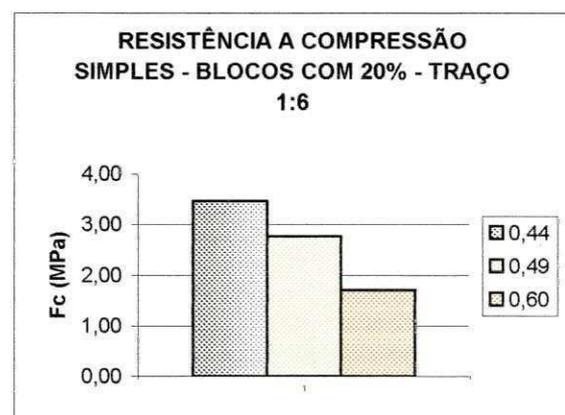


Gráfico X –Traço 1:6,15% de resíduo

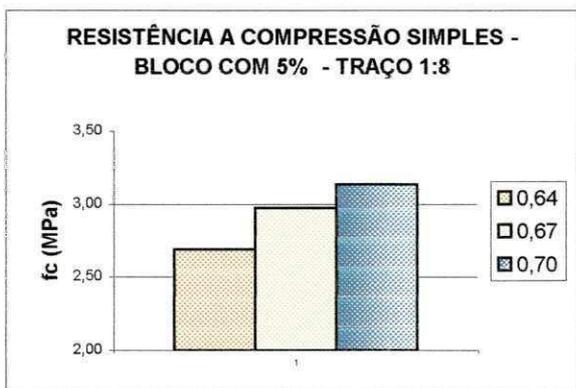


Gráfico XI – Traço 1:6, 20% de resíduo

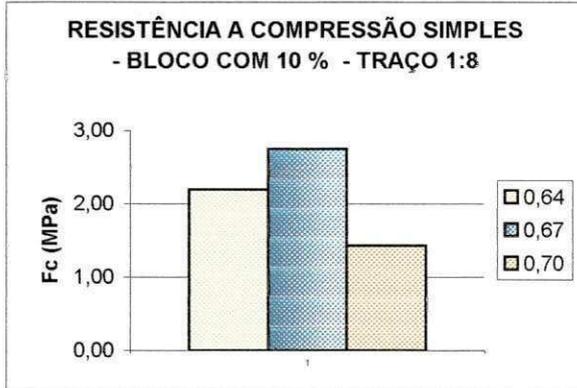


Gráfico XII – Traço 1:8, 5% de resíduo

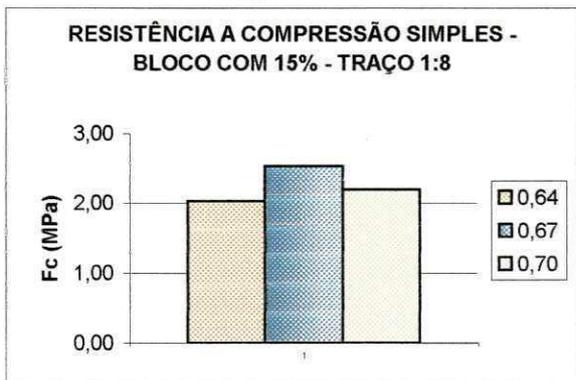


Gráfico XIII – Traço 1:8, 10% de resíduo

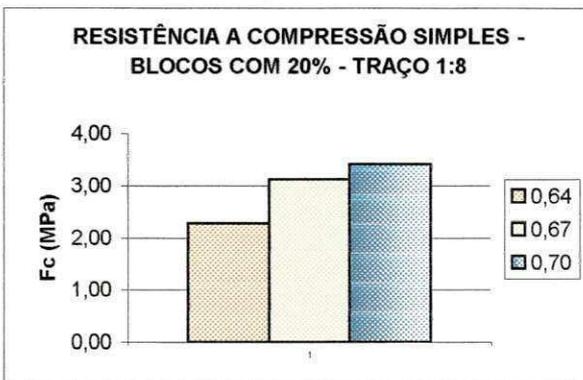


Gráfico XIV – Traço 1:8, 5% de resíduo

Gráfico XV – Traço 1:8, 20% de resíduo

O aumento da quantidade de água provoca um melhor arranjo das partículas e também uma melhora no grau de compactação (que depende também da máquina utilizada na moldagem) e por conseguinte um aumento da resistência a compressão simples, no entanto o aumento contínuo da quantidade de água a partir de um certo ponto provocará uma queda da resistência f_c , pois esta ocupará o lugar das partículas sólidas, aumentando assim os vazios do bloco. Desta forma o gráfico da resistência f_c em função da relação a/c assemelha-se a uma parábola, aumentando até uma relação a/c ótima, a partir daí começa a decrescer com o acréscimo de água. No entanto nem sempre é possível encontrar o fator água cimento ótimo devido as limitações da máquina vibro-prensa utilizada na moldagem. Na maioria das composições observou-se o crescimento da resistência com aumento de água, mas não foi possível determinar o ponto ótimo a partir do qual a resistência decresceria, por causa de tais limitações.

6.0 – CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos através dos ensaios realizados nos blocos de vedação convencionais e alternativos com traço, 1:4 1:6 e 1:8 pode-se verificar que todas as composições de incorporação de resíduo (5, 10, 15 e 20%) apresentaram resultados com uma certa folga em relação à norma quanto à resistência compressão simples ($f_c > 2,5$ MPa) já aos sete dias de cura.

Estes resultados permitem que se crie uma grande expectativa quanto a utilização destes resíduos como agregado alternativo em substituição ao agregado miúdo pois foi obtido resistência para os blocos alternativos maiores que a resistência dos blocos convencionais. Observe os gráficos I, IV, V, VI e VII nos quais pode-se perceber que para o $f_{a/c}$ escolhido de cada composição obteve-se resistência com sete dias de cura maior que a resistência do traço convencional (gráfico I), também aos sete dias de cura. Desta forma espera-se que este resíduo apresente um excelente desempenho como agregado alternativo para fabricação de blocos de vedação, a fim de que se possa: minimizar os efeitos deletérios causados por este quando lançado no meio ambiente, diminuir a exploração exaustiva das reservas naturais de areia e proporcionar uma maior integração social disponibilizando no mercado um produto mais acessível de menor preço.

Assim para próxima etapa desta pesquisa será adotado, com base em critérios econômicos e de resistência o traço 1:8 em massa. Nesta etapa a análise será feita através da resistência à compressão simples e absorção de água buscando uma análise mais detalhada e com amostras maiores o que permitirá uma maior confiança sobre os resultados.

7.1 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA E REFERENCIADA

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregado em estado solto – Determinação da Massa Unitária. NBR 7451/52.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Método de Ensaio para determinação da massa específica do agregado miúdo - Frasco de Chapman. NBR 9776/87.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregado em Estado Compactado seco - Determinação da Massa Unitária. NBR 7810/83.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação da Composição Granulométrica dos agregados. NBR 7217/82.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Blocos Vazados de Concreto Simples - Determinação da Resistência a Compressão. NBR 7184/91.

ALAVEDRA, P. ; DOMINGUEZ, J.; GONZALO, E. et. al. La construction sostenible. El estado da la cuestion. Informes de la construccion, v.49, nº451, p. 41-47, 1997.

BARRA, M.; VASQUEZ, E. Particularidades do processo de carbonatação em concretos de agregado reciclado. In: Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções. 4., 1997. Porto Alegre. Anais.... Porto Alegre: UFRGS, 1997, p. 217-224.

CARVALHO, J. B. Q de; QUEIROZ JUNIOR, F. O; OLIVEIRA, D. F; MELO, A. B; SANTOS, V. S; FARIAS, C. A. S; Análise da Dosagem para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil na Fabricação de Blocos de Vedação. In: VI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E II ENCONTRO DE PÓS GRADUAÇÃO, 2002, São José dos Campos-SP. 2002.

GOLDSTEIN, H. Not your father's concrete. Civil Engineering, v. 65, n. 5, p. 60-63, 1995.

GPI. Glass Packaging institute solid waste & Recycling policy. <http://www.gpi.org/swp2.htm>. Acesso em 15 de outubro de 1996.

GRN. Glossary of recycling terms. <http://www.gpi.org/swp2.htm> ass packaging institute solid waste & Recycling policy. <http://www.grn.com/libra/gloss-t.htm>. Acesso em 15 de outubro de 1996.

JOHN.V.M. A construção e o meio ambiente. <http://www.recycle.pccc.usp.Br/artigos1.htm>. 1998a.

JOHN, V. M. AGOPYAN, V. & PRADO, T. A. Durabilidade de compósitos de cimento e fibras vegetais. III Seminário Internacional de Durabilidade de Materiais. Componentes e Estruturas. PCC /USP, São Paulo, Junho/1997.

JOHN, V. M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. Anais do Workshop sobre Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. ANTAC - PCC /USP, São Paulo, 1996.

JOHN, V. M., AGOPYAN, V. & PRADO, T. A. Durabilidade de compósitos de cimentos e fibras vegetais. III Seminário Internacional Durabilidade de materiais, componentes e estruturas. PCC-USP São Paulo, Julho/1997.

JOHN, V. M. Panorâmica sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. Anais – II Seminário – Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil. São Paulo, 1999.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil. São Paulo, PCC/USP, Tese de Livre Docência, 2000.

NEVES, G. A. Reciclagem de resíduos da serragem de granitos para uso como matéria-prima cerâmica. Universidade Federal de Campina Grande. Tese de Doutorado, 2002

PENTALA, V. Concrete and sustainable development. ACI Materials Journal, v. 94, n. 5, p. 409-416, 1997.

PETRUCI, E. G. Concreto de Cimento Portland, 13 ed, São Paulo, globo 1998,307p

PONTES, i. F.; JUNIOR, A. S. Aplicação de rejeitos dos teores do Espírito Santo na Indústria cerâmica. Rochas de Qualidade, n.161, p. 118-125, 2001.

SJÖSTRÖM, C. Durability and sustainable use of building materials. 8p., 1997. (texto digitado).