

Valeska Mendes

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GEOLÓGICO DE POZOLANAS
NATURAIS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2009





UFRJ

Valeska Mendes

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GEOLÓGICO DE POZOLANAS NATURAIS NO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:
Prof. Dr. Julio Cezar Mendes

Rio de Janeiro
Setembro/2009



MENDES, Valeska

Avaliação do potencial geológico de pozolanas naturais no estado do Rio de Janeiro / Valeska Mendes - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2009.

37 p. : il.; 30 cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2009.

Orientador: Júlio Cezar Mendes

1. Geologia. 2. Geologia Econômica – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Coelho, José Mário. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Título.

Valeska Mendes



Avaliação do potencial geológico de pozolanas naturais no Estado do Rio de Janeiro

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. Julio Cezar Mendes

Aprovada em: 17/09/2009

Por:

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mendes (UFRJ)

Prof^a. Dr^a. Cícera Neysi de Almeida (UFRJ)

Prof. Dr. José Mário Coelho (UFRJ)

UFRJ
Rio de Janeiro
2009

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Rio de Janeiro, pelo suporte e oportunidade de adquirir conhecimento e ensinamentos que serão utilizados na minha vida profissional. Agradeço a todos os professores que de forma direta ou indireta foram fundamentais na minha formação. Principalmente aos meus orientadores Julio Cezar Mendes e José Mario Coelho. Agradeço minha família pelo amor, carinho e compreensão da necessidade que tive ao longo do curso, pela ajuda fundamental em minha vida. Agradeço muito a meus amigos, aos alunos de geologia da turma de 2003, aos funcionários do departamento e a todos que contribuíram para que fosse possível a elaboração desse trabalho.

RESUMO

MENDES, Valeska. **Avaliação do potencial geológico de pozolanas naturais no Estado do Rio de Janeiro**. 2009. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Este trabalho aborda o mercado de cimento no Estado do Rio de Janeiro, caracterizando o potencial geológico de pozolanas naturais, com intuito de avaliar suas vantagens econômicas, ambientais e tecnológicas da sua utilização na produção de cimento. Foi feita uma pesquisa bibliográfica referente à geologia regional do Estado do Rio de Janeiro e sobre estudos relativos a materiais pozolânicos na produção de cimento. A produção anual de cimento do estado do Rio de Janeiro, em 2008, foi de 3.189.926 toneladas, e o consumo foram de 4.353.407 toneladas. A Companhia Siderúrgica Nacional entrou em janeiro de 2009 no mercado de cimento do estado do Rio de Janeiro, devendo suprir o déficit atualmente existente. É bastante conhecido que o uso de pozolanas naturais, como adição em misturas de cimento *Portland*, tem efeito benéfico na durabilidade do concreto. As rochas pozolânicas possuem grandes vantagens quando utilizadas na produção de cimento substituindo parte do clínquer. Estas vantagens são: economia de energia devido à redução de temperatura de produção do cimento e diminuição de emissão de CO₂. No estado do Rio de Janeiro, os materiais com potencial pozolânicos são: as rochas de origens alcalinas; os depósitos terciários representados por bacias interiores (Resende, Itaboraí, Quatis e Floriano) e pelos sedimentos do Grupo Barreiras. Detalhamentos futuros das ocorrências de rochas pozolânicas existentes no Estado do Rio de Janeiro, com trabalhos técnicos de pré-qualificação pozolânica e a confirmação da atividade pozolânica certamente irão contribuir para o desenvolvimento da indústria do cimento no Estado do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: material pozolânico; cimento; Rio de Janeiro

ABSTRACT

MENDES, VALESKA. **Appraisal of the geological potential of natural pozzolans in Rio de Janeiro State**. 2009. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

This paper focuses on the cement market in Rio de Janeiro, characterizing the geological potential of natural pozzolans, aiming to assess its economic advantages, environmental and technology of their use in the production of cement. A bibliographic research was made, about the regional geology of the Rio de Janeiro state and on studies of the pozzolanic materials in cement production. The annual production of cement in the state of Rio de Janeiro in 2008 was 3,189,926 tones and consumption was 4,353,407 tons. The Companhia Siderúrgica Nacional came in January 2009 in the cement market in the state of Rio de Janeiro, must supply the deficit currently exists. It is well known that the use of natural pozzolans, such as adding a mixture of Portland cement, has a beneficial effect on the durability of concrete. The rocks pozzolanic have great advantages when used in the production of cement replacing part of the clinker. These advantages are: saving energy by reducing the temperature of cement production and reduction of CO₂ emissions. In Rio de Janeiro, the pozzolanic materials with potential are: sources of alkaline rocks, the Tertiary deposits represented by the interior basins (Resende, Itaboraí, Quatis and Floriano) and the sediments of the Barreiras Group. Detailing future occurrences of pozzolanic rocks in Rio de Janeiro State, with technical papers pre-qualification pozzolanic and confirmation of pozzolanic activity will certainly contribute to the development of the cement industry in the State of Rio de Janeiro.

Key-word: pozzolanic material; cement; Rio de Janeiro

LISTA DE TABELA

Tabela 1	3
Produção de Cimento por Tipo 2001-2006 (Mil t).....	3
Tabela 2.....	29
Reservas Fluminenses de Nefelina Sienito- 2005.....	29
Tabela 3.....	29
Dados obtidos no portal do DNPM sobre o estado do Rio de Janeiro.	29
Tabela 4.....	30
Quantidade e valor da produção mineral comercializada no Rio de Janeiro - 2005	30

LISTA DE FIGURA

Figura 1- Etapas da Produção do Cimento	6
Figura 2 -Distribuição das Emissões de CO2 - Produção de Cimento Média Mundial	9
Figura 3: Estado do Rio de Janeiro	14
Figura 4: Mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro.....	24

LISTA DE QUADRO

Quadro 1:.....	5
Classificação de materiais pozolânicos, conforme sua atividade-tipo.....	5
Quadro 2.....	13
Classificação da rocha quanto sua atividade tipo.....	13

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE TABELA.....	vii
LISTA DE FIGURA.....	vii
LISTA DE QUADRO	vii
SUMÁRIO	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	1
1.2 Materiais e Métodos	1
2. PRODUÇÃO DE CIMENTO.....	2
2.1. Principais Matérias-Primas.....	3
2.2 Processos de Produção de Cimento	5
2.3 Consumo de Energia na Indústria de Cimento	7
2.4 Meio Ambiente	8
2.5 Emissões de Gás Carbônico.....	8
2.5.1 Protocolo de Kyoto	10
2.6 Principais Características do Cimento Portland Pozolânico (CP IV).....	10
2.7 Principais Materiais pozolânicos	12
3. ÁREA DE ESTUDO	14
3.1 Geologia do Rio de Janeiro.....	14
3.2 Geologia Econômica do Estado do Rio de Janeiro	26
3.3 Produção de Cimento no Estado do Rio de Janeiro	27
4. POTENCIAL DE POZOLANAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	28
5. CONCLUSÃO	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

Materiais pozolânicos são substâncias naturais ou artificiais, de composição silicosa ou silico-aluminos, que reagem com hidróxido de cálcio na presença de umidade resultando em compostos com propriedades cimentícias. Diversas rochas podem apresentar compósitos com propriedade pozolânica natural ou potencial a ser realçada mediante processos de ativação térmica.

As rochas pozolânicas possuem grandes vantagens quando utilizadas na produção de cimento substituindo parte do clínquer. Estas vantagens são: economia de energia devido à redução de temperatura de produção do cimento, e diminuição de emissão de CO₂.

1.1 Objetivo

Nesse trabalho serão abordados os mercados produtor e consumidor de cimento no Estado do Rio de Janeiro, caracterizando o potencial geológico de pozolanas naturais, com intuito de avaliar suas vantagens econômicas, ambientais e tecnológicas da sua utilização na produção de cimento.

1.2 Materiais e Métodos

Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica referente à geologia regional do Estado do Rio de Janeiro e estudos relativos a materiais pozolânicos na produção de cimento, onde são analisadas as matérias-primas que definem as suas

características técnicas para as aplicações. Foi levantado o mercado produtor de cimento no estado do Rio de Janeiro, consumidor potencial de material pozolânico.

2. PRODUÇÃO DE CIMENTO

O cimento, conhecido tecnicamente como cimento *portland*, é um pó obtido pela moagem de clínquer com adição de gipsita e de outros materiais como filler, pozolana e escória.

O mercado nacional dispõe de oito opções, que atendem com igual desempenho aos mais variados tipos de obras. O cimento *Portland* comum (CP I) é referência, por suas características e propriedades, aos 11 tipos básicos de cimento *Portland* disponíveis no mercado brasileiro. (Associação Brasileira de Cimento Portland –ABCP).

O cimento *portland* pozolânico contém adição de pozolana no teor que varia de 15% a 50% em massa. Este alto teor de pozolana confere ao cimento uma alta impermeabilidade e conseqüentemente maior durabilidade. O concreto confeccionado com o CP IV apresenta resistência mecânica à compressão superior ao concreto de cimento *Portland* comum em longo prazo. É especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 5736. A Tabela 1 fornece os dados da produção de cimento por tipo, o cimento tipo IV (pozolânico) teve uma leve diminuição da produção no período observado.

Tabela 1
Produção de Cimento por Tipo 2001-2006 (Mil t)

ANOS	CP I	CP II	CP III	CP IV	CP V
2001	441	29493	3044	2981	2979
2002	441	28619	3287	2892	2788
2003	643	24392	4424	2581	1970
2004	683	23829	5155	2794	1952
2005	786	24780	6522	2545	2040
2006	794	26621	6843	2846	2436

Fonte: Valor Análise Setorial, 2008.

2.1. Principais Matérias-Primas

As matérias primas para produção de cimento são o Carbonato de cálcio (CaCO_3) – 60 a 70%, Sílica (SiO_2) – 20 a 25%, a Alumina (Al_2O_3) 2 a 9%, o Óxido de ferro (Fe_2O_3) – 1 a 6% e Óxido de magnésio (MgO) – 1 a 2%, outros materiais também são adicionados para produção de diferentes tipos de cimento como cinza, gipsita, anidrita, escória e materiais pozolânicos.

Calcário na indústria de cimento é um termo que inclui carbonato de cálcio (CaCO_3), carbonato de magnésio (MgCO_3) e dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). O calcário é a principal fonte de carbonato de cálcio (CaCO_3). O alto teor de MgO que no processo de produção deriva do MgCO_3 é altamente indesejável na composição do clínquer, pois causa desvantagens na hidratação, aumenta o volume e produz sais solúveis que enfraquecem cimento quando exposto a lixiviação.

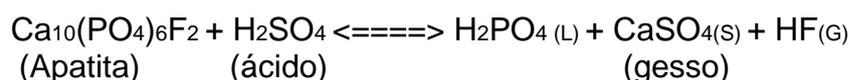
Outros elementos indesejáveis na composição do cimento são: óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O). O calcário é uma rocha facilmente encontrada na superfície terrestre, comumente encontrado como depósitos de origem marinha, ocorrendo também como mármores, marga, aragonita, conchas e em outras formas.

A argila é usada como fontes de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), e também de óxido de ferro (Fe_2O_3) ou minério de ferro para ajustar a composição química desejada. A escolha da argila envolve disponibilidade, distância, relação sílica/alumínio/ferro e elementos menores como álcalis.

Outras substâncias minerais contendo sílica e alumina, como silte, arenito, cinza vulcânica e bauxita, são usados visando à redução de custos e melhoria da qualidade do cimento. Muitas fábricas estão usando materiais reciclados para esse propósito.

As reservas de calcário e argilas são abundantes na natureza e ocorrem em praticamente todos os países, e no caso do Brasil em todos os estados, mas fatores como acessibilidade, qualidade, custo de extração, transporte, localização das jazidas devem ser avaliados.

O gesso é encontrado sob as formas de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemidratado ou bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4). Utiliza-se também o gesso proveniente da indústria de ácido fosfórico a partir da apatita:



Pozolanas naturais, segundo a NBR 12653/1992, são materiais de origem vulcânica, geralmente de caráter químico ácido ou de origem sedimentar com atividade pozolânica.

Tomando como referência a composição química e mineralógica das próprias pozolanas, Mielenz *et. al.* (1951) apud Montanheiro *et. al.* (2002), as classificaram quanto à sua atividade-tipo (Quadro 1), a qual foi expressa pela afinidade e intensidade de reação em presença da água, do hidróxido de cálcio com o tipo de componente ativo presente no compósito mineralógico, independentemente da origem da rocha.

Quadro 1:
Classificação de materiais pozolânicos, conforme sua atividade-tipo

Atividade-tipo	Componente ativo
1	Vidro Vulcânico
2	Opala
3	Argilas
3 ^a	Caulinita
3b	Montmorillonita
3c	Ilita
3d	Camada mista com vermiculita
3e	Paligorskita
4	Zeólita
5	Óxidos de Alumínio hidratados
6	Não pozolânicos

Fonte: Montanheiro et. al. (2002)

2.2 Processos de Produção de Cimento

O processo de produção do cimento é dividido em várias etapas. A primeira parte é a extração do calcário e da argila, principais matérias primas na produção de cimento, exploradas de jazidas a céu aberto (mais comum no Brasil) ou subterrâneas. O desmonte da rocha é feito por explosivos e com base no plano de exploração mineral que inclui a preservação do meio ambiente.

O calcário extraído é transportado até as instalações de britagem onde é reduzido a dimensões adequadas (no máximo 25 mm).

O armazenamento do calcário e da argila são feitos separadamente. Posteriormente é feita a dosagem do calcário (90%) e da argila (10%). Esta mistura chamada de farinha crua passa por moagem de modo a reduzir o tamanho das partículas, com 0,05 mm em média. É feita a homogeneização em silos verticais para assegurar a perfeita combinação na formação do clínquer.

A mistura é segue para o forno rotativo, a 1450°C, onde ocorre a clínquerização e para o resfriador, a 80°C, finalizando a clínquerização.

O clínquer segue para o armazenamento e posteriormente são efetuadas as adições de gesso, calcário, escória ou pozolanas, dependendo do tipo de cimento *portland*. O material passa pela moagem de cimento originando o cimento como conhecido.

O armazenamento e a expedição finalizam os processos onde o cimento é despachado na forma de saco ou a granel. A Figura 1 apresenta as etapas de produção.

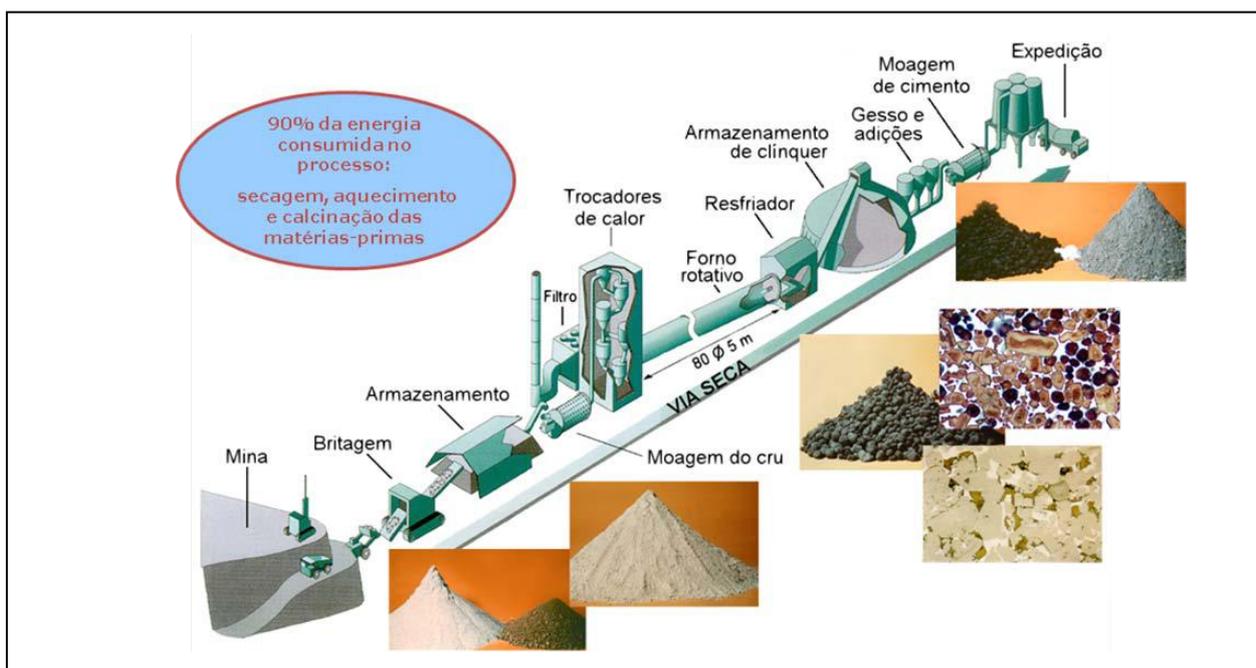


Figura 1- Etapas da Produção do Cimento

Fonte: Schalka & Andrade, 2007.

2.3 Consumo de Energia na Indústria de Cimento

Os níveis médios de consumo específico de energia térmica e elétrica na indústria do cimento brasileira encontram-se, respectivamente, em aproximadamente 825 kcal por kg de clínquer e 107 kWh por tonelada de cimento, conforme último levantamento oficial, realizado em 2003.

Esses valores encontram-se abaixo daqueles apresentados pelos EUA e principais produtores da União Européia, demonstrando a eficiência energética da indústria nacional. (SNIC, 2009)

O setor cimenteiro é o oitavo maior consumidor de energia entre os segmentos industriais, sendo responsável por 1,5% do consumo final de energia no país. (Valor Análise Setorial, 2008.).

O principal combustível utilizado como fonte de energia para produção de cimento é o coque de petróleo, seguido da energia elétrica. Cresce no setor a utilização de combustíveis alternativos que já representam cerca de 10% do consumo total energético. O setor cimenteiro no Brasil possui uma capacidade crescente de queima que pode chegar a até 1,5 milhões de toneladas de resíduos eliminados anualmente. (SNIC, 2007).

A energia gasta na produção do clínquer, que é o principal componente do cimento, é de aproximadamente 65 kWh/t, enquanto para produzir pozolana são necessários no máximo 30 kWh/t, ou seja, menos da metade. A pozolana tem a finalidade de substituir o clínquer na composição do cimento.

Sendo assim produzir cimento pozolânico traz benefícios para o meio ambiente, pois reduz o consumo tanto de energia elétrica, quanto de energia térmica.

2.4 Meio Ambiente

A indústria do cimento tem investido cada vez mais na utilização de matérias-primas alternativas em substituição do clínquer, com destaque ao aumento do teor de aditivos no cimento, como pozolana, escória (resíduo do processo siderúrgico) e cinzas de termelétricas, além do aumento da utilização de biomassas nas fábricas, como casca de arroz, cana de açúcar e castanha de caju.

Há investimentos também no co-processamento (feito pelos fornos de produção de cimento) e conseqüentemente eliminação de resíduos de diversas indústrias, principalmente dos setores químico, petroquímico, metalúrgico, alumínio, pneumático, automobilístico e de papel e celulose. Os resíduos mais comuns são borrachas, solventes, tintas e óleos usados, pneus, borras de petróleo e de alumínio, e ainda solos contaminados e lodos de centrais de tratamento de esgoto. Os resíduos não passivos como resíduos domésticos, hospitalares, radioativos, agrotóxicos e explosivos não podem ser queimados nos fornos de cimento.

O CSI (Iniciativo para a Sustentabilidade do Cimento) reúne um grupo das maiores empresas de cimentos globais em busca do uso de tecnologias limpas, a preservação dos ecossistemas e a diminuição na redução de gases do efeito estufa, especialmente o CO₂.

2.5 Emissões de Gás Carbônico

A relevância deste tema para o setor tem uma razão básica: a indústria cimenteira é responsável por 5% das emissões de CO₂ no mundo. No processo de fabricação do cimento, as emissões de CO₂ são distribuídas em descarbonatação

(50%), combustão no forno de clínquer (40%), transporte de matérias-primas (5%) e eletricidade (5%).

É comprovada a grande participação da indústria de cimento nas emissões de CO₂, embora esses valores variem entre os pesquisadores: 10% de todas as emissões no Brasil John (2005); 5 e 8% do total emitido anualmente para atmosfera, consome 5,5 GJ de energia e libera, aproximadamente, 1 t de CO₂ por tonelada de clínquer Isaias e Gastaldini (2004) ; 7% da emissão anual na atmosfera e na produção de cada tonelada de cimento, são lançadas 0,6 tonelada de CO₂ no ar, Demanboro *et. al.* (2003); aproximadamente 22,8 milhões de toneladas/ano no Brasil Toledo (2004). Aproximadamente 5% das emissões antropogênicas de CO₂ (Figura 2) provem da indústria de cimento (Battelle, 2002).

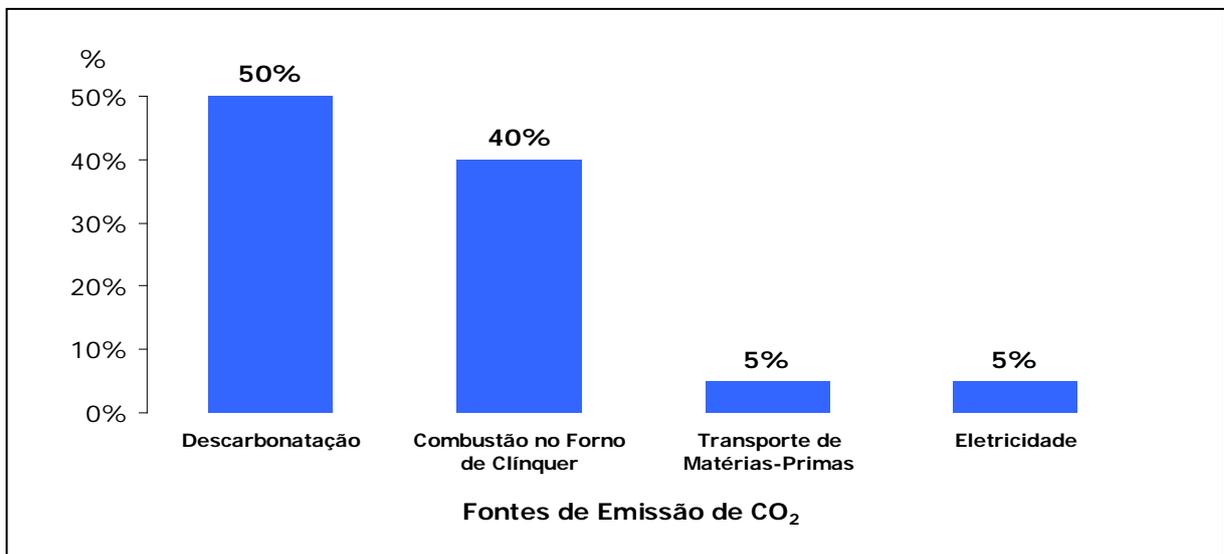


Figura 2 -Distribuição das Emissões de CO₂ - Produção de Cimento Média Mundial
Fonte: Battelle, 2002.

A substituição do clínquer por materiais pozolânicos gera redução de emissão de CO₂, para cada tonelada de clínquer produzido, são gerados aproximadamente

uma tonelada de CO₂, enquanto que, para pozolana, cada tonelada produzida gera 0,3 t de CO₂. Produzir pozolana traz grandes benefícios para o meio ambiente pois: reduz emissão de CO₂ e aumenta a vida útil das jazidas de calcário. Quanto mais pozolanas mais benefícios ao meio ambiente, o limite de adição de pozolanas no cimento é de 50%.

2.5.1 Protocolo de Kyoto

O protocolo de Kyoto é um tratado internacional que estimula a redução de emissões de gases do efeito estufa e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

Os países industrializados pelo acordo do protocolo de Kyoto que entrou em vigor em 2005 devem diminuir as emissões de CO₂, durante o período de 2008 a 2012, em média 5,2% em relação aos níveis de 1990.

Créditos de carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE) são certificados emitidos quando ocorre a redução de emissão de gases do efeito estufa (GEE). Por convenção, uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) equivalente corresponde a um crédito de carbono. Este crédito pode ser negociado no mercado internacional. A redução da emissão de outros gases que também contribuem para o efeito estufa também pode ser convertido em créditos de carbono, utilizando o conceito de Carbono Equivalente. (EDP).

2.6 Principais Características do Cimento *Portland* Pozolânico (CP IV)

O cimento *Portland* Pozolânico é definido como um aglomerante hidráulico, resultante da moagem do clínquer *Portland* e pozolana, sem nenhuma outra

substância adicionada senão uma ou mais formas de sulfato de cálcio. A adição adequada de pozolanas ao clínquer *Portland* comum apresenta alguns benefícios já referidos por Mielenz et. al. (1951) apud Montanheiro et. al. (2002): custa menos, reduz o calor de hidratação, tem mobilidade melhorada, diminui a permeabilidade e melhora a plasticidade do concreto reduzindo a segregação e escoamento de água, aumenta a resistência não só ao ataque de águas sulfatadas como também à compressão do concreto e, por fim, minimiza ou retarda o progresso da reação álcali-agregado. A velocidade da reação do cimento pozolânico com a água é mais lenta, sendo assim, também é menor o efeito do calor gerado nessa reação sobre as argamassas e concretos.

É bastante conhecido que o uso de pozolanas naturais, como adição em misturas de cimento *Portland*, tem efeito benéfico na durabilidade do concreto exposto a águas contendo sulfatos. Mehta (1987), afirma que essa durabilidade é devida à reação pozolânica, que não apenas reduz a permeabilidade do concreto, mas também resulta na formação de um produto resistente a sulfatos (i.e., redução do hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento hidratada, e silicato de cálcio hidratado – CSH com baixa relação $\text{CaO} / \text{SiO}_2$). Os resultados de numerosas investigações confirmam que a adição de pozolana natural promove uma melhora na resistência do cimento *Portland* ao ataque por sulfatos. (Mehta, 1987).

A interação química de certos minerais silicosos, constituintes de agregados com os álcalis do cimento *Portland*, é conhecida por promover expansão e fissuração do concreto. O método comumente praticado para redução dos riscos de tal expansão envolve o uso de cimentos com baixo teor de álcalis. Alternativamente, onde for possível, o agregado reativo é trocado por um não-reativo. Quando o uso de um cimento *Portland* 57 com alto teor de álcali ($>0,6\% \text{Na}_2\text{O}$ equivalente), em

combinação com um agregado contendo constituintes reativos ao álcali, parece inevitável, o fenômeno de expansão em concretos pode ser controlado pela incorporação de material pozolânico (que tenha sido comprovada, por testes laboratoriais, a sua efetiva redução na expansão álcali-agregado) (Mehta, 1987).

Os materiais pozolânicos, como as escórias de alto-forno, apresentam propriedade potencial de atuar como ligante hidráulico. A reação dos materiais pozolânicos com a água só vai acontecer quando houver, também, a presença de clínquer em pó. Na realidade, a reação dos materiais pozolânicos só começa depois que a reação entre o clínquer moído e a água já estiver iniciada. Mas, em compensação, uma vez iniciada, ela se processa em velocidade superior à do cimento de alto-forno, embora ainda um pouco menor que a do cimento *Portland* comum, de modo que continua havendo mais tempo para que as partículas e grãos que compõem o cimento pozolânico se liguem de forma mais íntima, através de um número maior de pontos de contato, reduzindo, assim, os espaços vazios ou poros entre eles, com o conseqüente aumento de durabilidade.

2.7 Principais Materiais Pozolânicos

Materiais pozolânicos são substâncias naturais ou artificiais, de composição silicosa ou silico-aluminosa que, não sendo por si só cimentícias, reagem com hidróxido de cálcio na presença de umidade e à temperatura ambiente, resultando em compostos com propriedades cimentícias. Diversas rochas podem apresentar compósitos com propriedade pozolânica natural ou potencial a ser realçada mediante processos de ativação térmica.

Mielenz et. al. (1951) classificaram tais rochas quanto à sua atividade-tipo, denominando as “materiais pozolânicos” (Quadro 2), tomando como referência a composição química e mineralógica das próprias pozolanas

A pesquisa de materiais pozolânicos inclui um trabalho técnico com duas etapas, a pré-qualificação pozolânica e a confirmação da atividade pozolânica, determinando os índices de atividade pozolânica. A pré-qualificação pozolânica é feita mediante as análises químicas, petrográficas e as difrações de raios X.

A confirmação da atividade pozolânica vai depender ainda de uma série de ensaios de preparação do material (finura por peneiramento, massa e área específica) para, em seguida, ser efetuado o teste de pozolanicidade propriamente dito, mediante reação química com a cal ou com o cimento do material em estudo. Esses ensaios estão estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Quadro 2
Classificação da rocha quanto sua atividade tipo

Atividade-tipo	Materiais pozolânicos
1	Tufos e pumicitos riolíticos; tufos e pumicitos dacíticos. Alguns tufos e cinzas andesíticos podem ser reativos. Tufos e cinzas basálticos e andesíticos são inferiores ou totalmente insatisfatórios em qualidade.
2	Terras diatomáceas e “cherts” opalinos
3	Todas as pozolanas obtidas de argilas calcinadas.
4	Rochas zeolíticas (clinoptilolita, ptilolita e analcima).
5	Bauxita.
6	Rochas compostas por minerais estáveis não reativos com a cal, tais como: quartzo, feldspato, carbonatos, anfibólios, piroxênios, micas e a maioria dos minerais formadores de rochas

Fonte: Instituto Geológico de São Paulo, 2003.

3. ÁREA DE ESTUDO

O trabalho tem como área principal de estudo o estado do Rio de Janeiro que possui uma área de 44.268 km² (Figura 3).



Figura 3: Estado do Rio de Janeiro

Fonte: IBGE, 1997, modificado

3.1 Geologia do Rio de Janeiro

O Estado do Rio de Janeiro possui uma geologia predominantemente formada por rochas do Arqueano, Proterozóico, Cambriano, sobressaindo-se migmatitos e gnaisses de diversos tipos, charnoquitos e granitos e bacias terciárias (Figura 4). A descrição abaixo foi extraída de CPRM (2001).

Arqueano

- Complexo Mantiqueira

O embasamento retrabalhado dos metassedimentos meso-neoproterozóicos no noroeste do estado é composto por ortognaisses e tonalíticos bandados do Complexo Mantiqueira (Barbosa, 1954, Ebert 1955, 1956a e 1956b) de idade arqueana (Cordani, *et. al.* 1973).

Sua ocorrência é restrita ao extremo-noroeste do estado, próximo às divisas com os estados de Minas Gerais e São Paulo. Sua área de exposição é muito restrita, com cerca de 35 km de comprimento na direção NE-SW por 4 km de largura. Acha-se intercalado em metassedimentos do Complexo Embu, a sul, e do Grupo Andrelândia, a norte. A unidade é injetada pelos granitóides da Suíte Pedra Selada.

Paleoproterozóico

- Complexo Região dos Lagos

É constituído por ortognaisses bandados/dobrados, cinzentos, de composição tonalítica a granítica, com abundantes paleodiques anfibolíticos deformados. Em alguns locais encontram-se parcialmente fundidos, com geração de venulações graníticas sintectônicas à deformação regional. Constitui um extenso bloco na região centro-leste do estado, com cerca de 125 km de comprimento, com largura variável de 50kmno sul e mínima de 4 km mais a norte.

- Complexo Juiz de Fora

Este complexo inclui ortognaisses tipo TTG (tonalitos-trondhjemitos-granodioritos) com intercalações de gnaisses máficos, toleííticos (гнаisses bimodais) e ortognaisses potássicos. Foram caracterizadas duas unidades: a primeira, dominante e metamorfizada em fácies granulito, e a outra em fácies anfibolito. Intercalações de paragnaisses, genericamente designadas como Unidade Itaperuna por Barbosa & Grossi Sad (1983), foram desmembradas e passam a integrar o Complexo Paraíba do Sul. Ficam também excluídas desse complexo as rochas charnockíticas geradas no Ciclo Brasileiro, anteriormente confundidas com os gnaisses charnockíticos do complexo, e passam a integrar a Suíte Bela Joana. Aflora no quadrante noroeste do estado, próximo à divisa com Estado de Minas Gerais, na forma de lentes estreitas e alongadas.

- Suíte Quirino

A Suíte Quirino foi descrita por Machado (1984) nos arredores das cidades de Vassouras, Paracambi e Valença. Entre as zonas de cisalhamento Paraíba do Sul e Valença. Posteriormente, a unidade foi estudada por Heilbron (1991, 1993), Machado *et. al.* (1996), Valladares (1996), Valladares *et. al.* (1997a) e Oliveira *et. al.* (1999). Gnaisses correlatos afloram em uma extensa faixa de orientação geral NE-SW, Heilbron (1993) estudando as rochas da oportunamente denominada “Suíte Intrusiva Quirino-Dorândia”, assinalou o caráter homogêneo destes gnaisses e interpretou o protólito dos mesmos como ortoderivado. O caráter intrusivo destas rochas foi inferido a partir da observação de xenólitos de quartzitos, rochas calcissilicáticas e anfibolitos, muito semelhantes às encaixantes (Complexo Paraíba do Sul).

Meso/neoproterozóico

- Complexo Andrelândia

Ebert (1955) designou de Grupo Andrelândia os metassedimentos expostos na região da cidade homônima. Constitui uma estreita faixa composta por metassedimentos de fácies anfibolito, que ocupa o extremo NW do estado, junto à divisa com os estados de Minas Gerais e São Paulo. A faixa tem 32 km de comprimento, com largura variando de 4 a 10 km, daí estendendo-se para os dois estados limítrofes.

- Complexo Embu

A caracterização original do Complexo Embu é devida a Aquir (1975), que empregou o termo Complexo Embu para designar os migmatitos da base do Grupo Açungui em São Paulo. Ocorre na extremidade NW do estado, em uma extensa faixa de direção NE-SW, com 120 km de comprimento e largura máxima de 16 km no sul, estendendo-se daí para o estado de Minas Gerais. Apresenta importantes intercalações de granitos do tipo S, sendo a mais importante a do granito Rio Turvo com 45 km de comprimento e com 8 km de largura média. Outras intercalações correspondem a ortognaisses granulíticos do Complexo Juiz de Fora.

- Complexo Paraíba do Sul

O Complexo Paraíba do Sul (CPS) representa uma unidade estratigráfica que sofreu grandes modificações nas caracterizações estratigráficas, petrográficas e tectônicas. Moraes Rego (1933) designou de “gnaiss do Parahyba” a um conjunto de

rochas contendo camadas lenticulares de calcários magnesianos. Rosier (1952) utilizou o termo “Complexo do Paraíba” para definir o gnaiss com plagioclásio, correlacionável ao “protogneis” de Lamego (1936), observado no vale do rio Paraíba do Sul. Nessa mesma região, Ebert (1955) definiu a “Série Paraíba” como sendo constituída de “quartzito basal, sedimentos clásticos, grauvacas, conglomerados, tilitos e calcários”. Em 1965, Rosier ampliou a assembléia litológica com a inclusão de gnaisses diversos e migmatitos, charnockitos, mármore, tactitos e “metaquartzitos”. Lima *et. al.* (1981) empregaram pela primeira vez o termo Complexo Paraíba do Sul para designar o conjunto de gnaisses granadíferos e kinzigitos da região costeira, do vale do rio Doce ao Rio de Janeiro. Na literatura mais moderna, há uma tendência à hierarquização da unidade como Grupo e a subdivisão da unidade aqui cartografada como Complexo Paraíba do Sul em um Grupo Paraíba do Sul e um Grupo Italva (e.g. Heilbron *et. al.*, 2000). Litotipos anteriormente designados de leptinitos, leucognaisses, gnaisses facoidais e parte dos “migmatitos”, entre outros termos, foram mapeados como granitóides tipo S. Parte dos “gnaisse” mostraram-se produtos ortoderivados. Após a depuração conceitual e cartográfica foram definidas duas faixas principais de ocorrência do complexo. Na primeira, exposta nas regiões ocidental e norte do estado, com grande continuidade física, estendendo-se desde a divisa com São Paulo até o Espírito Santo, foram distinguidas três unidades informais: São Fidélis, Italva e Itaperuna. A outra faixa, em trabalhos anteriores designada de Lumiar - Rio Bonito, com prolongamentos no sentido de Campos, está situada na região da serra do Mar e contém litotipos aqui agrupados na unidade São Fidélis. Várias lentes menos expressivas, em especial dessa última unidade, encontram-se dispersas em meio a

rochas ortognáissicas, charnockíticas e granitóides, sendo uma das mais notáveis a definida na região da cidade do Rio de Janeiro.

- Complexo Búzios

Fonseca *et. al.* (1979) designaram de Seqüência de Búzios aos paragnaisses deste complexo expostos no cabo Búzios. No presente estudo, tendo em conta a similaridade tectono-estrutural e litológica com os metassedimentos expostos no cabo Búzios, tal unidade foi ampliada para NE, no sentido de Carapebus. Optou-se, também, de acordo com Schmitt *et. al.* (1999 a), por incluir no Complexo Búzios as rochas supracrustais da serra de Sepetiba (São Pedro d'Aldeia) e da região entre Maricá, Saquarema e Casimiro de Abreu.

Neoproterozóico/cambriano

O Estado do Rio de Janeiro é caracterizado por abundante granitogênese neoproterozóica, associada à deformação e metamorfismo da seqüência metassedimentar do Complexo Paraíba do Sul, resultantes do Ciclo Orogênico Brasileiro. Granitóides metaluminosos pré- a sincolisionais alcançam sua mais importante expressão nos batólitos Serra dos Órgãos e Rio Negro, incluindo associações calcioalcalinas expandidas (Complexo Rio Negro). Magmatismo peraluminoso, sincolisional, do tipo S, representado por granitóides intensamente deformados e estirados segundo o *trend* NE-SW, está relacionado predominantemente ao Batólito/Arco Rio de Janeiro, ocorrendo também no domínio Juiz de Fora. São associados aos metassedimentos do Complexo Paraíba do Sul, dos quais derivam por processos de fusão parcial. Também ocorrem inúmeros plútons calcioalcalinos

de natureza milonítica, controlados pelas zonas de cisalhamento direcionais, e corpos não deformados, cuja distribuição aparentemente independe da estruturação principal do orógeno. O magmatismo tem sido atribuído à implantação de dois arcos magmáticos. Um mais jovem, denominado de Arco magmático Rio Doce, gerado entre 590 e 560Ma, e outro mais antigo, denominado de Arco magmático Rio Paraíba do Sul, implantado no intervalo de 580/590 a 620/650Ma (Figueiredo e Campos Neto, 1993; Wiedemann, 1993; Machado, 1997; Machado & Demange 1998). Recentemente, Tupinambá (1999) propôs a denominação de Arco Rio Negro para os ortognaisses homônimos que compõem o Domínio Serra do Mar. Um estudo recente de compartimentação tectono-magmática baseado em datações U-Pb convencionais e SHRIMP, além de Pb-Pb por evaporação permite o estabelecimento de uma estratigrafia granítica para o estado, relacionada aos sistemas de orógenos Brasileiro II e III. Esta repartição tectônica é aqui adotada e está associada a uma evolução magmática complexa, através da acreção de sucessivos arcos magmáticos, de W para E: Rio Negro/Serra dos Órgãos/ Rio de Janeiro.

Bacias Continentais Terciárias

- Bacia de São José do Itaboraí

A Bacia de São José do Itaboraí é uma depressão elíptica de orientação geral ENE, com dimensões máximas de 1.400m x 500m e espessura de sedimentos máxima em torno de 100m, situada cerca de 25km a leste da cidade de Niterói (Rodrigues Francisco & Cunha, 1978; Riccomini & Rodrigues Francisco, 1992). Essa bacia foi implantada sobre os granitóides neoproterozóicos, e compreende três unidades sedimentares: a Formação Itaboraí (Oliveira, 1956), de natureza

carbonática e constituída por calcários travertinos intercalados com calcários clástico-argilosos (Ferrari, 1990), a Unidade Intermediária, composta por sedimentos rudáceo-psamíticos de idade Paleoceno Superior (Rodrigues Francisco & Cunha, 1978). Em discordância angular ocorre a Unidade Superior, também rudáceo-psamítica de idade pleistocênica (Rodrigues Francisco & Cunha, 1978; Riccomini & Rodrigues Francisco 1992). Um dique de rocha ultrabásica de aproximadamente 150m e direção N45_E corta rochas do embasamento e sedimentos carbonáticos e conglomeráticos, terminando sob a forma de um derrame de lava ankaramítica (Klein & Valença, 1984).

- Bacia de Macacu

A Bacia de Macacu aflora a nordeste da Baía de Guanabara, estendendo-se na direção ENE por aproximadamente 25 km, com 15 km de largura, nas imediações das cidades de Itaboraí e Magé, e da Ilha do Governador. A espessura conhecida da bacia é de aproximadamente 200 m (Ferrari & Silva, 1997). O embasamento da bacia é constituído de paragnaisses e rochas alcalinas. A Bacia de Macacu é constituída por duas unidades sedimentares: a Formação Macacu de Meis & Amador (1977), uma sucessão de lentes e camadas pouco espessas de sedimentos predominantemente arenosos, arredondados e pouco consolidados, de idade plio-pleistocênica; e a unidade “pré-Macacu”, definida pelos mesmos autores como “produto da colmatação de blocos tectonicamente rebaixados no Terciário Médio”.

- Grupo Barreiras

As flutuações do nível do mar e as alterações paleoclimáticas foram as principais causas da formação das planícies litorâneas brasileiras (Martin *et. al.*,

1997). Uma das unidades mais expressivas da faixa litorânea é o Grupo Barreiras, que se estende desde o Amapá até o Rio de Janeiro (Batista *et. al.*, 1984), aflorando sob a forma de extensos tabuleiros ou falésias de vários metros de altura. O Grupo Barreiras aflora na região de Carapebus-Quiçamã e, mais restritamente, próximo às cidades de Búzios e Macaé, sendo a área de maior expressão na região do delta do rio Paraíba do Sul. Esse pacote sedimentar é constituído de três unidades: areias grossas a conglomeráticas, com matriz caulínica e estruturas de estratificação cruzada planar na base do pacote; uma unidade intermediária composta de interlaminações de areias grossas quartzosas com matriz areno-argilosa e argilas arroxeadas levemente arenosas; e, no topo do pacote, um nível de argilas de cores vermelha e branca (Ferrari *et. al.*, 1981).

- Bacia de Volta Redonda

A Bacia de Volta Redonda está encaixada em falhas normais, com orientação ocorre deslocada para SE com relação ao *trend* estrutural. Segundo Riccomini (1989), a sedimentação caracteriza ambientes continentais, com registros de sedimentação rudácea associada a leques aluviais proximais. Estes gradam lateralmente para fácies distais mais finas (Formação Resende) e para ambientes fluviais de rios anastomosados (Formação São Paulo) daí passando para uma sedimentação muito fina, de ambiente lacustre (Formação Tremembé). Esta última unidade litoestratigráfica não aflora no Estado do Rio de Janeiro. A sedimentação teria sido controlada, segundo o mesmo autor, pela implantação de um amplo sistema de *riftes* terciários, no Sudeste do Brasil.

- Bacia de Resende

Tem forma alongada na direção NE-SW com aproximadamente 50km de eixo maior. Está exposta no mesmo *trend* estrutural da Bacia de Taubaté.

- Bacia de Taubaté

A Bacia de Taubaté aflora numa área restrita, situada a oeste da cidade de Itatiaia.

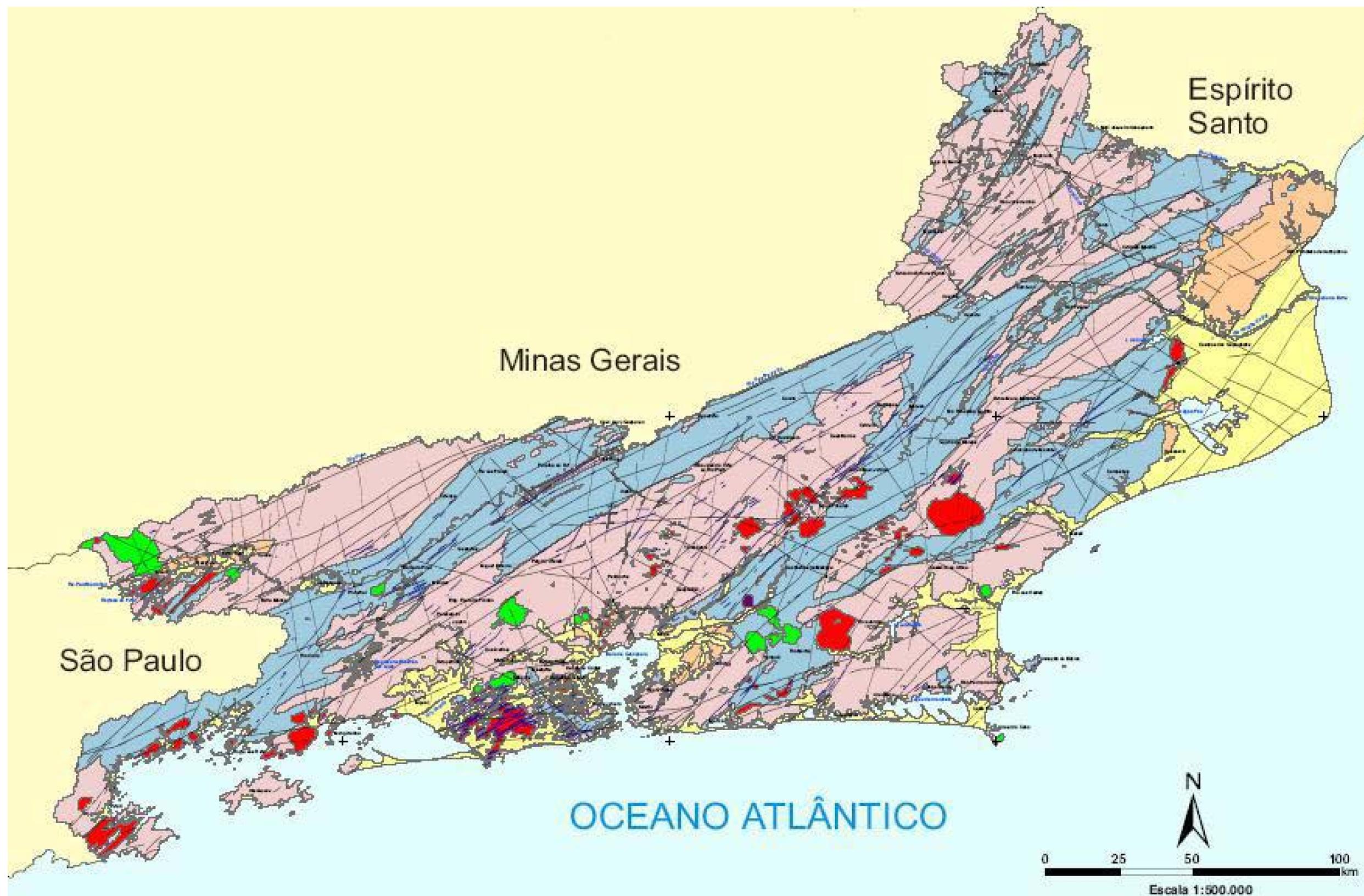


Figura 4: Mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro
Fonte: DRM, 2009, modificado

Legenda Comentada:

Rochas sedimentares:

 **Sedimentos Quaternários** (recentes): representados por lamas, turfa, areias, cascalhos e conglomerados depositados entre o presente e 2 milhões de anos atrás. Esses sedimentos se concentram principalmente próximo ao litoral, nos vales dos rios, nas bordas das lagoas e nos brejos.

 **Sedimentos Terciários:** foram depositados entre 65 e 2 milhões de anos. São rochas sedimentares ou sedimentos inconsolidados, depositados por processos fluviais e marinhos. No Estado são representados principalmente pela Formação Barreiras e pelas bacias sedimentares de Campos, Resende e Itaboraí. Esta última se destaca por ser a única do Estado com ocorrência de fósseis de animais e vegetais. Uma bacia sedimentar é uma depressão do terreno onde os sedimentos se acumulam.

 **Rochas alcalinas:** São rochas magmáticas caracterizadas por serem ricas nos elementos sódio e potássio. A rocha alcalina mais comum do nosso estado é o Sienito (rocha predominante no maciço do Itatiaia, por exemplo). Dentre as rochas ígneas do Estado, as alcalinas são as mais novas, tendo se formado entre 70 e 40 milhões de anos.

 **Diques de Diabásio:** são rochas magmáticas com a presença de minerais ricos em ferro e magnésio. Conhecida popularmente como "pedra-ferro". Sua composição é semelhante a das lavas do fundo dos oceanos e sua origem está ligada a abertura do oceano Atlântico, quando o continente sul-americano se separou do africano, há cerca de 130 milhões de anos.

A idade dos granitos homogêneos e das rochas básicas é de cerca de 500 milhões de anos.

 **Granitos homogêneos:** Dentre as rochas ígneas que não sofreram metamorfismo no Estado, os granitos são as mais comuns. São constituídos basicamente pelos minerais, quartzo, feldspato e biotita, que podem ocorrer em proporções variadas.

 **Rochas básicas:** devido à escala do mapa, somente um único corpo rochoso com esta composição pode ser representado: o Complexo Gleba Ribeira. Tem composição bastante diferente dos granitos, sendo mais semelhante à dos diques de diabásio.

Rochas metamórficas

As rochas metamórficas são as mais abundantes do Estado, representando mais de 80% do seu território. Possuem idades desde 500 milhões de anos até superiores 2 bilhões de anos.

 **Rochas ortoderivadas:** Formadas a partir do metamorfismo sobre rochas ígneas. As rochas ortoderivadas mais comuns no Estado são os chamados ortognaisses, que possuem uma composição semelhante ao granito, mas que mostram uma estrutura planar bem desenvolvida que os geólogos chamam de foliação.

 **Rochas paraderivadas:** Formadas a partir do metamorfismo das rochas sedimentares, podendo ser também chamadas de metassedimentares. As mais comuns no Estado do Rio de Janeiro são os paragnaisses, que possuem minerais típicos de metamorfismo sobre sedimentos, como a sillimanita e a granada (mineral vermelho ou rosa, com brilho de vidro). Os mármore de Cantagalo e Italva são rochas metassedimentares que indicam ter havido um grande depósito de corais num mar existente na região há cerca de 1 bilhão de anos atrás.

 **Falhas, Fraturas e Dobras:** estruturas de reação das rochas a esforços por ela sofridos. Dependendo das condições de pressão e temperatura, uma rocha pode ser dobrada (deformação dúctil = flexível). Por vezes, o esforço sobre as rochas geram fraturas (deformação rúptil = que quebra). Quando, numa fratura, um bloco de rocha se movimenta em relação ao outro, a estrutura resultante é denominada falha.

Fonte: DRM, 2009

3.2 Geologia Econômica do Estado do Rio de Janeiro

A geologia econômica do Estado se caracteriza principalmente pelas grandes reservas de óleo e gás natural na Bacia de Campos, sendo o maior produtor de petróleo do país e também pela produção de minerais não metálicos (especialmente materiais para construção civil) e água mineral.

Segundo DRM-RJ, 2007, o Estado do Rio de Janeiro, especialmente a Região Metropolitana é considerado o segundo maior centro consumidor de agregados (cimento, brita e areia) de uso na engenharia civil, no Brasil.

O petróleo é o recurso mineral mais importante do Brasil, sendo que o Estado do Rio de Janeiro vem contribuindo com uma participação expressiva, tanto em termos de reservas, como na produção de petróleo e gás natural (Silva, 2007).

Quanto às rochas ornamentais o Estado do Rio de Janeiro se notabiliza como um pólo de beneficiamento, dispondo de um parque de processamento de rochas ornamentais com produção ascendente, além de apresentar, nos últimos anos, um comportamento de expansão de exportações muito superior ao nacional, principalmente, devido à participação de produtos de maior valor agregado. Também é importante salientar que os dois maiores exportadores nacionais estão instalados no Estado do Rio de Janeiro.

Em 2005, a produção mineral dos não-metálicos foi da ordem de R\$ 390 milhões. A produção de calcário foi da ordem de R\$ 11 milhões, e de uma quantidade de 2.200.000 toneladas correspondendo a 10% da produção total de não-metálicos do estado. Tendo em vista a baixa diversificação e valor agregado em poucas substâncias, os setores consumidores de bens minerais na economia do

Estado, têm sua demanda atendida via produtores externos, principalmente localizados em Minas Gerais, Bahia e São Paulo.

Em termos efetivos, a produção mineral do Estado do Rio de Janeiro participa no cenário da produção mineral nacional contribuindo com valor de R\$ 405 milhões, excluindo-se desse cálculo petróleo e gás natural (Anuário Mineral, 2006).

Em relação aos recursos minerais metálicos, destacam-se as areias portadoras de rutilo, ilmenita e zirconita. (CPRM, 2001).

3.3 Produção de Cimento no Estado do Rio de Janeiro

A produção anual de cimento do estado do Rio de Janeiro, em 2008, foi de 3.189.926 toneladas, e o consumo foi de 4.353.407 toneladas, o que mostra um déficit de 1.163.481 toneladas. Esse déficit, hoje, é suprido pelos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo.

O estado do Rio de Janeiro possui cinco fábricas, sendo três integradas e duas de moagem. Estas fábricas pertencem a três grupos empresariais: Holcim, Lafarge e Votorantim, que juntos dominam 53% da produção nacional de cimento.

A Companhia Siderúrgica Nacional entrou em janeiro de 2009 no mercado de cimento do estado do Rio de Janeiro. Sua nova fábrica, dentro da área de sua usina siderúrgica, localizada no Complexo Industrial de Volta Redonda terá capacidade de produzir 2,3 milhões de toneladas/ano, a partir de 2011. A estimativa de produção para 2009 é de 400 mil toneladas.

A companhia usará 1,4 milhões de toneladas de escória de alto-forno provenientes da produção de aço na produção de cimento, o que corresponde a

70% da matéria-prima utilizada. O fornecimento de calcário, para produção de clínquer, será feito pela mina localizada em Arcos, Minas Gerais.

4. POTENCIAL DE POZOLANAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Os materiais com potencial pozolânicos são: as rochas de origens alcalinas; os depósitos terciários representados por bacias interiores (Resende, Itaboraí, Quatis e Floriano) e pelos sedimentos do Grupo Barreiras.

As rochas alcalinas encontradas no Rio de Janeiro são compostas por Associação sienítica de saturada a subsaturada, o sienito alcalino, pulaskita e nefelina sienito (frequentemente associada com traquítos e fonolitos) como rocha predominante (Cabo Frio, Itaúna, Ilha de Vitória, Mendanha, Morro de São João, Rio Bonito, Soarinho, Tinguá) e associação granito-álcali sienito (Itatiaia).

As rochas alcalinas no estado são compostas pelos seguintes maciços: Maciço Itatiaia (folha Agulhas Negras), Maciço Passa Quatro (folha Passa Quatro), Rio Bonito (folha Rio Bonito), Maciço Soarinho (folha Rio Bonito), Maciço Tanguá (folha Rio Bonito/Itaboraí), Mendanha/Marapicú (folha Santa Cruz/Vila Militar), Maciço Itaúna (folha Baía de Guanabara), Maciço Cabo Frio (Farol do Cabo/Cabo Frio), Maciço Morro Redondo (folha Resende/Bananal), Maciço Tinguá (folha Cava/Paracambi), Maciço Serra dos Tomazes (folha Barra do Pirai/Pirai), Maciço Canaã (folha Cava/Petrópolis), Maciço Morro de São João (folha Morro de São João).

As reservas de rochas alcalinas no Rio de Janeiro são da ordem de 28 milhões t (reservas medidas). O estado possui a 3ª maior reserva do Brasil, perdendo apenas para Tocantins e Santa Catarina (Tabela 2).

Tabela 2
Reservas Fluminenses de Nefelina Sienito- 2005

Estado	Medida (t)	Indicada (t)	Inferida (t)
Rio de Janeiro	28.981.231	5.720.000	25.448.000

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro, 2006.

Com base em uma pesquisa feita no “site” do Cadastro Mineiro do DNPM foi desenvolvida a Tabela 3 que mostra as áreas do estado do Rio de Janeiro que estão em situação legal para estudar e lavrar rochas pozolânicas (Nefelina Sienito, Sienito e Sienito e Nefelina). Existem sete empresas com concessões de lavra no Rio de Janeiro.

Tabela 3
Dados obtidos no portal do DNPM sobre o estado do Rio de Janeiro.

Tipo de requerimento	Nefelina sienito		Sienito e Nefelina		Sienito	
	Ativos	Inativos	Ativos	Inativos	Ativos	Inativos
Requerimento de pesquisa	-	5	-	4	1	51
Autorização de pesquisa	3	12	1	1	5	31
Requerimento de Lavra	-	-	-	-	-	1
Concessão de Lavra	-	-	1	1	6	7
Disponibilidade	-	7	-	-	1	31
Licenciamento	-	-	-	-	-	1

Fonte: Cadastro Mineiro, 2009.

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro 2006, o Rio de Janeiro produziu 20.948 t de nefelina sienito e toda esta produção foi realizada pela mineradora Mineração Sartor LTDA, localizado no município de Tanguá (Tabela 4). Pode-se observar que esta empresa não beneficia seu produto, o que diminui o seu preço de venda, que em 2005 ficou em torno de 19 reais por tonelada.

Tabela 4.
Quantidade e valor da produção mineral comercializada no Rio de Janeiro - 2005

NEFELINA SIENITO NO RIO DE JANEIRO					
UF	BRUTA		BENEFICIADA		VALOR TOTAL (R\$)
	Quantidade	Valor (R\$)	Quantidade	Valor (R\$)	
Rio de Janeiro	20.948 t	399.452	-	-	399.452

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro, 2006

As rochas sedimentares do estado do Rio de Janeiro estão representadas por depósitos terciários representados por bacias interiores (Resende, Itaboraí, Quatis e Floriano) e pelos sedimentos do Grupo Barreiras, além de depósitos quaternários.

A bacia de Resende ocorre nas vizinhanças de Resende, com área de aproximadamente 120 km². Considerada pliocênica, sua sequência sedimentar continental é constituída por: arenitos, argilas e arenitos vermelhos. Sobre os sedimentos terciários assentam os depósitos sapropelíticos e turfosos.

As bacias de Quatis e Floriano estão situadas no município de Barra Mansa, no Vale do Rio Paraíba do Sul, e seus sedimentos são semelhantes aos da Bacia de Resende. Na bacia Quatis já foram encontrados fósseis vegetais.

A bacia de Itaboraí está localizada em São José, município de Itaboraí, com uma área atual de cerca de 1,5 km²; constitui-se de uma bacia calcária encravada em rochas gnáissicas. Foi preenchida por sedimentos (margas, calcário fitado

cinzento) contendo uma fauna de gastrópodes continentais e material fossilífero de vertebrados do Paleoceno.

O Grupo Barreiras compreende os depósitos da faixa costeira bem como os sedimentos continentais dos tabuleiros cenozóicos, litologicamente variando entre argilas e conglomerados, apresentando algumas vezes estratificação cruzada. Os seus principais afloramentos localizam-se em Itaboraí, Magé, Ilha do Governador, Campos e Resende.

O Grupo Barreiras é formado por depósito detrítico pobremente selecionado, com granulometria cascalho e constituído por areias grossas a conglomeráticas, com matriz caulínica e estruturas de estratificação cruzada planar na base do pacote; contém uma unidade intermediária composta de interlaminações de areias grossas quartzosas com matriz areno-argilosa e argilas arroxeadas levemente arenosas geralmente contendo horizontes lateríticos (CPRM, 2001).

Os depósitos quaternários estão representados por coluviões, aluviões fluviais e marinhos. Depósitos quaternários importantes ocorrem na foz do Rio Paraíba do Sul, em Campos, onde se desenvolveram diversos tipos de deltas. Nesse local, são freqüentes os manguezais contendo sedimentos argilosos. Destacam-se também as planícies costeiras, sobretudo a Baixada fluminense onde são encontradas turfeiras em quantidade.

Aos depósitos quaternários estão relacionados importantes reservas de areia e argila no estado, tais como em Macaé, Cabo. Frio, Baixada de Sepetiba, Vale do Rio Paraíba do Sul dentre outros.

5. CONCLUSÃO

Detalhamentos futuros das ocorrências de pozolanas, com trabalhos técnicos de pré-qualificação pozolânica e a confirmação da atividade pozolânica certamente contribuirá para o desenvolvimento sustentável da indústria do cimento no Estado do Rio de Janeiro.

A produção de cimento no Brasil foi grande nos últimos anos; em 2008, chegou a 51,8 milhões de toneladas, superior em 11,4% à do ano anterior, que totalizou 46,5 milhões de toneladas. O Brasil se encontra na 8ª posição do ranking mundial, apresentando apenas 1,8% da produção mundial. O crescimento da produção acompanha a demanda da indústria da construção civil que está em franca expansão. A produção de cimento deverá atingir em 2012 cerca de 86 milhões de toneladas.

A região Sudeste responde por 48,8% da produção nacional de cimento, concentrando também a maior demanda nacional de cimento.

O papel das pozolanas pode ser muito importante pois elas representam uma alternativa viável para o desenvolvimento sustentável da indústria do cimento. A utilização de materiais pozolânicos na produção de cimento gera vantagens econômicas, ambientais e geológicas.

As vantagens econômicas são o custo inferior do material pozolânico em relação ao clínquer *portland*, e segundo, a produção total de cimento. Além do baixo consumo energético, redução de custos com energia térmica e elétrica. As vantagens ambientais são redução de emissão de CO₂ e reciclagem, reduzindo rejeitos, pois

recicla resíduos industriais com atividades pozolânicas . As vantagens geológicas são a preservação de grandes depósitos carbonáticos e viabilizar outros depósitos, uma vez que, estarão agregando novos valores a minerais e rochas não inservíveis.

A fabricação do clínquer continuará a exigir a mesma quantidade de farinha, o mesmo consumo energético e mesma emissão de CO₂. Porém a substituição de até 50% do clínquer por material pozolânico produzirá mais cimento com a mesma tonelagem de clínquer. Assim gera menor custo, baixo consumo energético, redução de energia térmica, da energia elétrica e da emissão de CO₂.

As rochas podem apresentar compostos com propriedade pozolânica natural ou potencial a ser realçada mediante processos de ativação térmica.

Devem ser feitos estudos de campo no estado do Rio de Janeiro, contemplando as rochas alcalinas (normalmente com potencial pozolânico natural) e os depósitos terciários (normalmente com potencial pozolânico realçado com atividade térmica), representados pelas bacias de Resende, Itaboraí, Quatis e Floriano e dos sedimentos do Grupo Barreiras.

As amostras coletadas, tanto das rochas alcalinas, quanto dos sedimentos, principalmente do Grupo Barreira, deverão ser submetidas a estudos de caracterização pozolânica. O estado do Rio de Janeiro possui reservas medidas de rochas alcalinas da ordem de 28 milhões de toneladas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP- Associação Brasileira de Cimento *Portland*, 2009. In: http://www.abcp.org.br/downloads/arquivos_pdf/Folder_coprocessamento_finalFSB.pdf , acessado em 08/09/2009.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO: **Setor de Transformação Não Metálicos/Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. – 2007 – Brasília: SGM: 2007 – 22,5 cm, 72 páginas.

BARBOSA, A.L.M. & GROSSI SAD, J.H. 1983. Geoquímica e petrologia dos charnockitos e rochas afins do complexo Juiz de Fora, In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2, Belo Horizonte. **Anais**, 75-84. (Boletim 3)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil 2001. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Estado do Rio de Janeiro, p. 2-92, p.235-261. Brasília 2001.

DEMANBORO, A. C., FERRÃO, A. M. A., MARIOTONI, A. **Desafios da Sustentabilidade sob o Enfoque do Estoque de Recursos Naturais**. In: <http://www.cori.unicamp.br/IAU/completos/Desafios%20da%20Sustentabilidade%20sob%20o%20Enfoque%20do%20Estoque%20de%20Recursos%20Naturais.doc> acessado em 02/09/2009.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro**. In: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2006/substancia%20a-e.pdf> , acessado em 04/05/2009

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Cadastro Mineiro**. In: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=62&IDPagina=40> acessado em 04/05/2009.

DRM – Departamento de Recursos Minerais. **Mapa Geológico Simplificado do Estado do Rio de Janeiro**. In: <http://www.drm.rj.gov.br/item.asp?chave=113> acessado em 10/05/2009

FERRARI, A.L. & SILVA, M.A.M. 1997. Bacia de Macacu (RJ): proposta de uma nova bacia do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 5 Penedo. **Anais**, 32-34.

HASUI, Y. 1975. Evolução polifásica do Pré-Cambriano a leste de São Paulo. **Boletim do Instituto de Geociências/USP**, Série Científica, 6: 95-108.

HEILBRON, M. 1993. **Evolução tectono-metamórfica da seção Bom Jardim de Minas, MG, e Barra do Piraí, RJ, Setor Central da Faixa Ribeira**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 268 p.

HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.; VALERIANO, C.M.; MILANI, E.J.; ALMEIDA, J.; TUPINAMBÁ, M. 2000. From collision to extension: the roots of the southeastern continental margin of Brazil. In: W. MOHRIAK, MTALWANI (Eds.): Atlantic Rifts and Continental Margins. Geologia do Estado do Rio de Janeiro. **American Geophysical Union, Geophysical Monography**, 115: 1-3.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Dados Estatísticos**. In: www.ibge.gov.br acesso em 05/06/2009.

INSTITUTO GEOLÓGICO DE SÃO PAULO, 2003. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 24(1/2), 1-9, 2003. In: www.igeologico.sp.gov.br acessado em 01/09/2009.

ISAIA, G., GASTALDINI, A., Concreto “verde” com teores muito elevados de adições minerais: um estudo de sustentabilidade. Artigo apresentado na I Conferência Latino- Americana de Construções Sustentáveis. **X Encontro Nacional de Tecnologias do Ambiente Construtivo**. São Paulo SP, julho de 2004.

JOHN, V.M., ANGULO, S. C., ZORDAN, S. E. **Desenvolvimento Sustentável e a**

Reciclagem de Resíduos na Construção Civil. In: http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20IV_CT206_2001.pdf acessado em 02/09/2009.

KLEIN, V.C. & VALENÇA, J.G. 1984. Estruturas almofadadas em derrame ankaramítico na Bacia de São José do Itaboraí, Rio de Janeiro. In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro. **Anais**, volume 9, p. 4335-4345.

LIMA, M.I.C.; FONSECA, E. G. da; OLIVEIRA, E. P. de; GHIGNONE, J.I.; ROCHA, J.M. R. R.M. 1981. Geologia. In: **Projeto RADAMBRASIL. Folha SD.24 Salvador.** Rio de Janeiro, p. 25-192. (Levantamento de Recursos Naturais, 24)

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M. 1997. **Geologia do Quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo.** Belo Horizonte. CPRM-FAPESP, 104 p.

MEHTA, K. 1987. **“Natural Pozzolans”.** **Supplementary Cementing Materials for Concrete.** CANMET-SP- 86-8e, Canadian Government Publishing Center, Supply and Services, Ottawa. V1, p.1-33.

MONTANHEIRO, T. J., Yamamoto, J. K., Kihara, Y., 2003. Proposta de Pré-Qualificação Pozolânica de Materiais Geológicos: Difração de Raios X como Método Alternativo. **Revista do Instituto Geológico.** São Paulo: 24(1/2), 1-9, 2003.

——— Características e Propriedades Pozolânicas De Arenitos Opalinos Da Serra De Itaqueri, SP. **Revista do Instituto Geológico.** São Paulo, 23(1), 13-24, 2002.

REIS A.P. & MANSUR K. L. 1995. **Sinopse Geológica do Estado do Rio de Janeiro.** Mapa Geológico 1:400.000. Niterói, DRM/RJ, 60 p. www.drm.rj.gov.br

RICCOMINI, C. 1989. **O rifte continental do sudeste do Brasil.** Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 256 p.

SCHALKA, W. & ANDRADE, A. S. 2007. **Sustentabilidade Empresarial no Contexto das Mudanças Climáticas**. 46 p.

SILVA, J.O. 2007. **As incertezas geológicas na previsão de receitas de royalties para o Estado e municípios do Rio de Janeiro**. 200 p. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto de Geociências. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

SCHMITT, R.S.; TROUW, R.A.J.; VAN SCHMUS, W. R. 1999. The characterization of a Cambrian (~520 Ma) tectonometamorphic event in the coastal domain of the Ribeira Belt (SE Brazil), using U/Pb in syntectonic veins. In: SEGEMAR, SIMPÓSIO SUDAMERICANO DE GEOLOGIA ISOTOPICA, 2, Cordoba. **Actas**, 363-366.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. In: Presskit, 2008
www.snic.com.br

TUPINAMBÁ, M. 1999. **Evolução tectônica e magmática da Faixa Ribeira na região serrana do Estado do Rio de Janeiro**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 221 p.

VALOR ANÁLISE SETORIAL – **Indústria do Cimento**, 2008, 133 páginas