



SISTEMA DE BENEFICIAMENTO DE AREIA PARA FINS INDUSTRIAIS

Frederico Carvalho de Almeida Rego

Projeto de Final de Curso

Orientadores:

Prof. Abraham Zakon, Eng. Químico, D. Eng.

Nefitaly Batista de Almeida Filho, Eng. Civil, M.Sc.

Outubro de 2005

SISTEMA DE BENEFICIAMENTO DE AREIA PARA FINS INDUSTRIAIS

Frederico Carvalho de Almeida Rego

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química,
como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de
Engenheiro Químico.

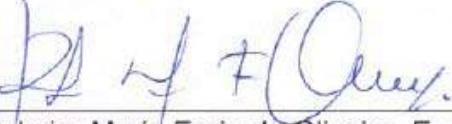
Aprovado por:



Samuel Berg Maia, Eng. Químico

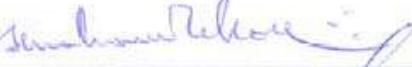


Volney do Nascimento Ribeiro, Eng. Químico



Palmira Maria Faria de Oliveira, Eng. Civil, M.Sc.

Orientado por:



Abraham Zakon, Eng. Químico, D. Eng.



Nefitaly Batista de Almeida Filho, Eng. Civil, M.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Outubro de 2005

Ficha Catalográfica

ALMEIDA REGO, FREDERICO CARVALHO DE

Sistema de Beneficiamento de Areia para Fins Industriais / Frederico Carvalho de Almeida Rego, Rio de Janeiro: UFRJ / EQ, 2005.

58 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2005
Orientadores: Abraham Zakon e Nefitaly Batista de Almeida Filho

1. Areias. 2. Areias Industriais. 3. Beneficiamento de Areias. 4. Monografia.
(Graduação – UFRJ / EQ). 5. Abraham Zakon, D. Eng. e Nefitaly Batista de Almeida, Filho, M.Sc..

Dedicatória

À minha mãe, que sempre será para mim um referencial de garra e perseverança.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Abraham Zakon e Nefitaly Batista de Almeida Filho, por toda a confiança, dedicação e apoio concedidos, que contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos meus irmãos (Felipe e Fabíola), à minha avó (Amariles) e a minha namorada (Rebecca), que mais uma vez foram os meus pilares de sustentação nas horas difíceis e nas incessantes madrugadas em claro, dando-me força e confiança para continuar.

À Professora Ana Catarina Evangelista e à Bióloga Maria Cristina Treitler Paixão da Escola Politécnica da UFRJ, pelas contribuições significativas aos trabalhos experimentais.

Aos funcionários do Laboratório de Tecnologia Inorgânica da EQ-UFRJ, pelo apoio nos trabalhos experimentais.

Ao Sr. Marko e ao Técnico Carlos do Laboratório de Tecnologia Mineral da COPPE, pelo uso das instalações e orientação prática nos ensaios experimentais.

Às bibliotecárias do CETEM, Sônia Maria Mamede Lourenço e Jacira Farnezi Coutinho, que me ajudaram de todas as formas a encontrar bibliografias necessárias para desenvolver boa parte deste trabalho.

Resumo do Projeto Final apresentado à Escola de Química da UFRJ
como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

SISTEMA DE BENEFICIAMENTO DE AREIA PARA FINS INDUSTRIAS

Frederico Carvalho de Almeida Rego

Outubro de 2005

Orientadores: Prof. Abraham Zakon, D. Eng.

Eng. Nefitaly Batista de Almeida Filho, M.Sc.

Os trabalhos visaram as seguintes metas: 1º - melhorar a qualidade da areia extraída da região de Seropédica-Itaguaí através de um sistema de beneficiamento e evitar seu consumo restrito ao setor da construção civil; 2º - executar a caracterização tecnológica de amostras de areia quartzosa. 3º - desenvolver uma rota de processamento fundamentada na análise de dados laboratoriais, para habilitar ao consumo da areia em mais de um uso industrial. As atividades executadas foram: busca bibliográfica, coleta de amostras em pátios de algumas mineradoras da região de Seropédica-Itaguaí, RJ, e trabalhos laboratoriais envolvendo ensaios de desempenho e análises químicas. O sistema proposto engloba as etapas de extração em cava submersa (numa lagoa), peneiramento com separação de resíduos de argila e matação, desaguamento e estocagem de seixos para filtros, limpeza e deslamagem para obtenção de areia de soleira e, ainda, seixos para pré-filtros ou filtros.

ÍNDICE

1. As características e limitações da extração mineral	1
1.1 – Mineração e exploração mineral	1
1.2 – A lavra de areia para construção civil e seus métodos	2
1.2.1 – Extração em leito de rio	3
1.2.2 – Método da cava seca	3
1.2.3 – Método da cava submersa	3
1.2.4 – Método de lavra de manto de alteração e/ou cobertura	3
1.3 – O beneficiamento de areia	4
1.4 - A produção de agregados e areia beneficiada para construção civil	4
1.5 – A produção de areia beneficiada para fins industriais	5
2. As areias industriais	7
2.1 - A importância das areias industriais	7
2.2 – Características tecnológicas básicas das areias industriais	7
2.3 – Principais aplicações das areias Industriais	10
2.4 – Especificações usuais para as areias industriais	12
2.4.1 – Consumo para vidros e cerâmica	14
2.4.1.1 – Granulometria para consumo para vidros e cerâmica	14
2.4.1.2 – Composição química para vidros e cerâmica	14
2.4.2 - Consumo para fundição	16
2.4.3 - Consumo para artefatos de argamassas com cimento Portland	17
2.4.4 - Consumo como agente ou meio filtrante	18
3. As variedades e origens geológicas das areias das areias industriais	20
3.1 – Conceitos e definições para as areias	20
3.2 – Os minerais de sílica que originam as areias	21
3.2.1 – Quartzo	21
3.2.2 – Quartzito	22
3.2.3 – Cascalho	22
3.2.4 – Feldspato	22
3.2.5 – Aluviões	23
3.2.6 – Arenitos	24
3.3 – Fenômenos geológicos formadores de areias	24
3.3.1 - Intemperismo	24
3.3.2 - Vulcanismo Explosivo ou Piroclástico	24
3.3.3 - Moagem via movimentos das rochas e por impacto	24
3.3.4 - Peletização de material fino	25
3.3.5 - Precipitação química e bioquímica	25
3.4 – As variedades mineralógicas das areias	25
4. Objetivos e escopo do presente projeto	27
5. Propriedades genéricas das partículas e agregados	28

6. Materiais e métodos	29
6.1 – Atividades realizadas	29
6.2 – Caracterização das amostras coletadas de areia e silte	29
6.2.1 – Metodologia da amostragem	29
6.2.2 – Determinação da massa específica real	30
6.2.4 - Determinação do teor de matéria orgânica nos sedimentos	30
6.2.4.1 - Análises qualitativas e semi-quantitativas	30
6.2.4.2 - Análises quantitativas nos agregados	31
6.2.5 - Determinação da composição granulométrica de agregados	31
6.2.6 - Determinação do inchamento da areia	34
6.2.7 – Determinação da massa específica aparente	36
6.2.8 – Análise química por Espectrometria de Fluorescência de Raio-X36	
6.2.8.1 - Preparo da amostra para a análise química por FRX	36
6.2.8.2 – Execução da Análise por FTX	37
6.2.8.3 - Condições analíticas semi-quantitativas	38
7. Análise dos resultados experimentais	39
7.1 - Massa Específica Real	39
7.2 - Teor de Matéria Orgânica por Colorimetria	40
7.3 – Determinação da Composição Granulométrica	41
7.4 - Determinação do Inchamento da Areia e da Massa específica Aparente	45
7.5 – Análise da composição química por FRX	49
8. Proposição de um sistema de beneficiamento de areia	51
8.1 – Conciliação entre os dados experimentais e as especificações industriais	51
8.1.1 - Vidraria e cerâmica:	52
8.1.2 - Indústrias Metalúrgicas e Siderúrgicas	52
8.1.3 - Refratários Ácidos:	52
8.1.4 – Artefatos de argamassas com cimento Portland:	52
8.1.5 - Agente ou meio filtrante	52
8.2 – Seleção do produto segundo o segmento industrial mais promissor	53
8.3 – Sistema de beneficiamento adotado	53
8.3.1 – Diagrama de blocos proposto	53
9. Conclusões	55
10. Referências bibliográficas	56

1. AS CARACTERÍSTICAS E LIMITAÇÕES DA EXTRAÇÃO MINERAL

1.1 - Mineração e exploração mineral

Segundo Müller e colaboradores (1987), a **mineração** (em subsolo ou a céu aberto) compreende as etapas de **lavra** (por desmonte ou extração) e **beneficiamento** físico, físico-químico e químico) de uma jazida ou depósito mineral.

Segundo HERMANN (1992), a **exploração mineral** (precede as etapas de mineração) e agrega as atividades de **prospecção** e **pesquisa mineral**. Alguns autores conceituam “prospecção” como sendo a atividade pela qual são definidas áreas onde há indícios de existência de ocorrência de minerais. São utilizados os seguintes métodos de prospecção: análise das cartas aerofotogramétricas, estudo da geologia da região e eventuais trabalhos de campo para averiguação das características geológicas do local (sondagens mecânicas, manuais e geofísicas, aberturas de poços etc). No caso da areia, além da identificação de sua ocorrência, a prospecção engloba, também, a eventual coleta de material para análises preliminares.

Após identificar-se através da prospecção, as áreas interessantes, advém a segunda fase dos trabalhos, também denominado de “pesquisa (mineral) propriamente dita”. Nessa fase, ocorre um contacto direto e contínuo do pesquisador com a área focalizada. A pesquisa de areia é simples, e compreende etapas de furação com trado manual (para definir a camada mineral), coleta e classificação de amostras, caracterização mineral, cubagem da reserva e ensaios de beneficiamento. Trabalhos geofísicos podem ser executados em casos especiais para definir com exatidão e precisão o embasamento rochoso; contudo, no Brasil, raramente esses estudos são realizados (HERMANN, 1992).

Antes do início do tradeamento (ou furação da área geográfica), define-se uma malha de sondagem cobrindo toda a região focalizada. Os geólogos procuram atingir profundidades de até 10 metros, no máximo, para recolher material de cada metro aprofundado, que é enviado para os laboratórios analíticos para análises químicas, caracterização mineralógica e granulométrica e outros ensaios pertinentes. Para efetuar a cubagem de uma jazida de areia utilizam-se os resultados dos furos de sondagem, que revelam as diversas espessuras mineralizadas. As amostras recolhidas são encaminhadas para os laboratórios. Completando os trabalhos necessários ao perfeito conhecimento da jazida, são executados ensaios de **beneficiamento na areia extraída** (em geral, *lavagem e classificação*) (HERMANN, 1992).

As atividades de extração e beneficiamento de minérios possuem muitas particularidades, em geral, divididas em **físicas** (exaustão de reserva, rigidez locacional), **econômicas** (longa maturação, renda econômica, cartelização e preços), **tecnológicas e ambientais**. A principal peculiaridade da mineração reside no fato das substâncias minerais constituírem bens não-renováveis. Assim, exige-se para o racional aproveitamento de uma jazida, que a lavra praticada não seja feita de modo predatório ou ambicioso, o que provocaria a sua exaustão precoce, além do não aproveitamento dos minérios com teores reduzidos ou secundários (NEVES, 1990).

Os bens minerais não comportam elevados custos de transporte, visto que, em geral, são produtos com baixo valor unitário. Portanto, a localização da jazida nas proximidades do mercado consumidor é um item decisivo na concorrência entre as empresas do mercado mineral. (RUIZ et al., 1990)

A qualidade do mineral existente em determinada jazida é um outro aspecto importante na concorrência entre as empresas mineradoras. Além da qualidade intrínseca ao material, deve-se considerar, também, as qualidade emprestada ao produto pelo beneficiamento. É importante enfatizar que a elevação da qualidade, no caso da indústria extractiva mineral, não advém de inovações significativas nos equipamentos utilizados. Ela é resultante, sobretudo, da incorporação de etapas adicionais de beneficiamento, ou adoção de equipamentos automáticos. (RUIZ et al, 1990)

Os bens minerais são recursos naturais não-renováveis, que por sua vez constituem um leque de matérias-primas básicas para diversas atividades industriais. Deve-se, por tanto, realizar um planejamento técnico e econômico de sua exploração, bem como controlar e fiscalizar essa atividade através dos órgãos públicos. Portanto, é necessário analisar o ponto e o prazo em que tais recursos se convertem em elemento crítico para o abastecimento. Este é um dos aspectos básicos para que um grande consumidor mineral opte por adquirir ou participar de um empreendimento mineral (adaptado de NEVES, 1990).

1. 2 – A lavra de areia para construção civil e seus métodos

Em muitas localidades, o processo de extração de areia para construção civil é bastante rudimentar e geralmente compreende o processo de beneficiamento. Existe muita facilidade para se instalar pequenos portos de areia, em função, de um lado, da tecnologia rudimentar e dos poucos recursos necessários para iniciar a atividade (RUIZ et al, 1990). Tanto em leitos dos rios como nos depósitos de suas margens procede-se da mesma forma: retira-se o material do seu depósito natural, através de sucção, mediante uso de dragas. Geralmente, como o beneficiamento é feito às margens dos rios, e, durante a operação de sedimentação muito material argiloso é separado e devolvido ao rio, o que é extremamente danoso à fauna e à flora aquáticas (HERMANN, 1992).

As areias para construção civil quase sempre são comercializadas na forma como são extraídas (sem peneiração). Ou seja, na maioria das vezes, passam apenas por uma lavagem simples (RUIZ et al, 1990). Em raríssimos casos, utilizam-se hidroclassificadores, e em outros, com vistas à obtenção de material de melhor qualidade, submete-se a areia a um tratamento químico para aumentar-lhe a pureza. Quanto ao beneficiamento, as areias para construção civil sofrem apenas (e quando isto ocorre) uma lavagem, uma classificação e eventualmente uma secagem. As areias industriais, todavia, passam por um processo mais completo de beneficiamento com vistas a realçar ou incorporar determinadas qualidades necessárias ao seu uso futuro: homogeneização, lavagem, classificação (HERMANN, 1992).

Comercialmente, as areias para construção recebem algumas denominações conforme o grau de elaboração que apresentam. São elas: **areia bruta** – areia que não foi beneficiada; **areia lavada** – areia que sofreu o processo de limpeza por simples lavagem; **areia graduada** – areia que obedece a uma classificação granulométrica previamente estabelecida. **Polpa**: é uma mistura de sólidos, constituídos pelo material arenoso e água (RUIZ et al, 1990).

O modelo produtivo predominante na região de Seropédica-Itaguaí corresponde ao dos pequenos portos de areia. Assim como no restante do Estado do Rio de Janeiro, a extração de areia é conduzida, tradicionalmente, por diversas empresas familiares de portes pequeno e médio de capital individual (limitado), que não empregam processos de beneficiamento físico, físico-químico ou químico do material extraído (VALENTE, 2000). Dessa forma, seus produtores se desqualificam perante os consumidores industriais, como as fábricas de vidro e cerâmicas especiais, as quais buscam nos outros estados vizinhos (São Paulo e Minas Gerais), matérias-primas com qualidade, garantia de homogeneidade e de fornecimento. Essa dificuldade de se obter fornecedores de areia industrial no Rio de Janeiro, capazes de suprir a demanda e ainda manter as especificações requeridas pelo mercado, cria no estado um campo aberto para novos investimentos neste ramo da indústria da mineração.

A lavra de areia normalmente, é feita segundo quatro métodos diferentes, dependendo dos tipos de depósito ou jazimentos em que são explotadas, ressaltando-se as que mineradores incluem muitas improvisações simplificadoras que eliminam operações intermediárias (RUIZ et al., 1990):

- 1º - extração em leito de rio;
- 2º - método de cava seca;
- 3º - método de cava submersa; e
- 4º - método de lavra de manto de alteração e/ou coberturas.

1.2.1 - Extração em leito de rio

Esse método de lavra consiste na dragagem dos sedimentos ativos existentes nos leitos de rios em profundidades não muito elevadas. A dragagem é feita através de bombas de sucção instaladas sobre barcaças ou flutuadores (tambores de 200 litros). As bombas de sucção são acopladas às tubulações que efetuam o transporte da areia na forma de polpa até as peneiras dos silos.

1.2.2 - Método da cava seca

É um método de lavra muito empregado na extração de areia dos depósitos de planície fluvial, de formações e coberturas de idade terciária e de manto de alteração de rochas cristalinas. A extração é feita por desmonte hidráulico em uma cava nas proximidades de um rio (RUIZ et al., 1990).

O decapamento ou remoção da cobertura de solo orgânico que, freqüentemente, existe sobre os depósitos, antecede a operação do desmonte hidráulico. O desmonte hidráulico consiste na desagregação dos grãos e partículas componentes da areia utilizando-se jatos d'água de alta pressão. Este jato incide na base dos taludes da cava e provoca o desmoronamento dos sedimentos ou rochas alteradas situadas nas suas partes superiores. Uma outra operação de jateamento sobre o material desmoronado promove a desagregação dos sedimentos ou rochas, e forma a polpa que desce por gravidade, em canaletas, até a *bacia de acumulação* (local situado na frente de trabalho que recebe o material desmontado hidraulicamente e que, em seguida, é succionado por bombas na forma de polpa até os silos) (RUIZ et al., 1990).

Em seguida, faz-se o bombeamento desse material até os tanques de decantação. Estes tanques, geralmente, são em número de dois, dispostos em seqüência de modo a propiciar uma separação seletiva por decantação dos materiais mais pesados no primeiro e mais leves no segundo. Procede-se, em seguida, a um novo jateamento d'água no último tanque e efetua-se o bombeamento da polpa até os **silos** (depósitos), onde ocorre uma decantação e a armazenagem da areia (RUIZ et al., 1990).

O rejeito, constituído por finos (silte e argila) resultantes do processo de lavagem, é armazenado em reservatórios especialmente construídos para este fim. Com a decantação desses finos, processa-se também a clarificação da água de lavagem que, em seguida, retoma ao sistema e é reaproveitada nas operações de desmonte (RUIZ et al., 1990).

1.2.3 - Método da cava submersa

Nesse método, a extração é feita na base e nas paredes laterais de uma cava preenchida com água. A extração é realizada com uma draga instalada sobre um barco e equipada com três bombas centrífugas. Tubos acoplados a essas bombas servem como condutores de água necessária à escavação e como meio de transporte da polpa até os silos. Alguns desses tubos também servem para conduzir a polpa até as câmaras das barcaças, que transportam a areia até as instalações de lavagem. À medida que a polpa é descarregada nas câmaras, os finos (silte e argila) nela presentes são eliminados na forma de sobrenadantes. Quando as barcaças estão com suas câmaras cheias, são rebocadas até as margens, onde a areia é depositada no leito da cava mediante a abertura das comportas de fundo. Em seguida, a areia é novamente succionada por uma draga montada em uma estação fixa que a conduz a silos (RUIZ et al., 1990).

1.2.4 Método de lavra de manto de alteração e/ou cobertura

Este método é semelhante ao da cava seca. Consiste no desmonte hidráulico da cobertura ou do manto de alteração resultante do intemperismo de rochas graníticas e gnáissicas. Após o desmonte, o material sofre um processo de separação por decantação, que possibilita remover as frações argilosas, que é repetido até a obtenção de um grau de pureza adequado, quando então o produto final é ensilado (RUIZ et al., 1990).

1.3 – O Beneficiamento de Areia

Segundo RUIZ et al (1990), o beneficiamento de areia para construção é um processo executado em paralelo à lavra. **Suas etapas mais conhecidas são: lavagem, peneiramento e desaguamento (secagem).**

A **lavagem** pode ser considerada como uma operação de beneficiamento intrínseca ou incluída nos métodos de lavra da cava seca, da cava submersa e de manto de alteração e/ou cobertura, nos quais a areia é movimentada e lavada por várias vezes sucessivas. No método de lavra em leito de rio, pelo fato da areia ser succionada diretamente da jazida até as peneiras dos silos, a lavagem não chega a caracterizar de fato uma operação de beneficiamento (RUIZ et al., 1990).

Na lavra em cava seca, quando a exploração da areia é feita obedecendo a todas as etapas do método, as operações de lavagem, peneiramento e desaguamento são mais evidentes do que na lavra em cava submersa merecendo, neste caso, uma descrição detalhada. A lavagem, neste método, é mais intensa e feita mediante o jateamento d'água na areia armazenada em tanques, proveniente da bacia de acumulação. Esses tanques são escavados no solo ou construídos em concreto armado ou com chapas de aço, em número de dois a três, dispostos em seqüência.

Na entrada do primeiro tanque, geralmente, instala-se uma peneira estática para a retenção de blocos de rocha, pedaços de madeira, raízes etc. Geralmente, o último tanque (ou os dois últimos), possui vertedouro com comporta horizontal que propicia o acúmulo progressivo do cascalho e da areia e a eliminação dos finos no sobrenadante. O cascalho e a areia acumulados nos tanques são novamente submetidos a jatos d'água de alta pressão para a sua relavagem. A polpa resultante desta relavagem é bombeada até os silos de estocagem, passando antes por uma peneira estática onde o cascalho é separado. Nos silos, a areia é acumulada e parte dos finos, em suspensão na polpa, é eliminada no sobrenadante. Após o enchimento dos silos efetua-se o desaguamento e o restante dos finos é descartado através de filtros existentes no interior dos próprios silos (RUIZ et al., 1990).

1.4 – A produção de agregados e areia beneficiada para construção civil

O setor de agregados para a construção civil engloba granitos, gnaisses, calcário, areias e basalto e sua importância econômica e social ainda não está perfeitamente quantificada. Estimativas não-oficiais para o setor de agregados admitem a mesma ordem de grandeza daquela considerada para o minério de ferro (CHAVES et al., 2002).

Uma peculiaridade da mineração de agregados para a construção civil consiste na necessidade de ser feita junto ao mercado consumidor, dado o baixo preço de seus produtos. Isto significa que ela é praticada junto às cidades e dentro das regiões metropolitanas. O impacto ambiental, bem como os conflitos pelo uso e ocupação do solo, são então multiplicados em relação às outras atividades minerárias. Isto diz respeito especialmente à lavra, feita, sem exceção, a céu aberto e em bancadas. A otimização do desmonte e a minimização de vibrações e ruídos mediante um plano de fogo adequado são problemas de interesse geral. A minimização do fogacho (desmonte secundário) ou o uso de técnicas alternativas ("drop ball", por exemplo) precisam ser incentivadas.

As técnicas de britagem e peneiramento para a produção de brita são perfeitamente dominadas. As técnicas de peneiramento e classificação para a produção de areia também. Entretanto, é mínimo o número de empresas que as praticam criteriosamente, a mercê de um mercado ignorante e por isto pouco exigente. É necessária uma campanha de informação dirigida ao grande público para reverter este quadro.

O decapeamento das jazidas de brita gera uma quantidade muito grande de estéril a ser depositado em bota-foras. Estes depósitos, localizados em regiões de elevado valor imobiliário, são fonte permanente de conflitos e objeto de invasões, além de serem caros em

termos econômicos e instáveis em termos geotécnicos. A minimização do volume a ser depositado mediante o aproveitamento da areia contida ou da argila (para utilização em cerâmica vermelha) é uma possibilidade que precisa ser extensamente explorada e que pode se revelar muito atrativa em termos de rentabilidade. Trata-se também de uma prática de tecnologia limpa e de desenvolvimento auto-sustentável.

Existem problemas técnicos associados à presença nestas areias de feldspatos alterados, que podem comprometer a sua utilização para finalidades de maior responsabilidade, como por exemplo, fabricação de concreto. Esforços precisam ser envidados no sentido da correta caracterização destes produtos e na solução destes problemas eventuais.

Outras fontes de problemas são os finos e o pedrisco, sem uso na construção civil em quantidades compatíveis com a sua geração. A fabricação de areia artificial e o arredondamento das partículas angulosas (mediante o uso de britadores de impacto de eixo vertical - Barmac, Canica e similares) para melhorar a trabalhabilidade das argamassas que as utilizem são campos de enorme interesse.

Existem pedreiras de todos os tamanhos, como a Pedreira Embu, 36a colocada no ranking das 100 maiores empresas de mineração. Já a mineração de areia se caracteriza como uma atividade primordialmente de pequenas e médias empresas.

Algumas experiências de estruturação de "clusters" mediante cooperativas de produtores têm sido implantadas (SMARJA, em Porto Alegre, nº 75, Associação dos Mineradores de Areia do Rio Ribeira, em Registro, SP), com resultados extremamente interessantes. Todo o apoio deve ser dado a iniciativas desta natureza, embora, o apoio requerido não se restrinja aos aspectos meramente técnicos.

Finalmente, a entrada de multinacionais no setor de construção civil, embora signifique a desnacionalização de mais um setor forte da economia, está trazendo a revisão dos conceitos envolvendo os agregados. Por exemplo, um areia, que, pelas normas brasileiras (ABNT) é definida como "produto natural" é hoje objeto de beneficiamento ou preparação cuidadosa, visando aumentar a resistência mecânica do concreto ou diminuir a participação de cimento portland para obter-se a mesma resistência. Isto envolve novos equipamentos de classificação, muitos dos quais inéditos no Brasil. Estamos, portanto atrasados e teremos provavelmente, que nos adaptarmos rapidamente CHAVES et al (2002).

Na Europa e nos Estados Unidos a **areia** é uma "commodity" e as usinas estão equipadas para fornecer diferentes especificações granulométricas, de acordo com as necessidades do consumidor ("recipe plant"). Dada a localização destas empresas dentro das áreas metropolitanas, temos um campo fértil para estudos de fechamento de minas, reabilitação de áreas lavradas e meio ambiente em geral (CHAVES et al., 2002).

1.5 – A produção de areia beneficiada para fins industriais

A inovação tecnológica neste setor consiste na introdução de etapas complementares de beneficiamento de areia/quartzito, ao que usualmente se pratica para o setor da construção civil. O panorama geral do beneficiamento de areia referente ao estado da arte tecnológica é representado pela figura abaixo que revela as opções encontradas na busca de informações do presente projeto.

A adaptação dos equipamentos existentes permite a obtenção de um produto com maior pureza. A mistura de sólidos (no caso, o material arenoso) e água, que é processada ou transportada em equipamentos diversos de operações unitárias é denominada de "**polpa**" (adaptado de RUIZ et al, 1990).

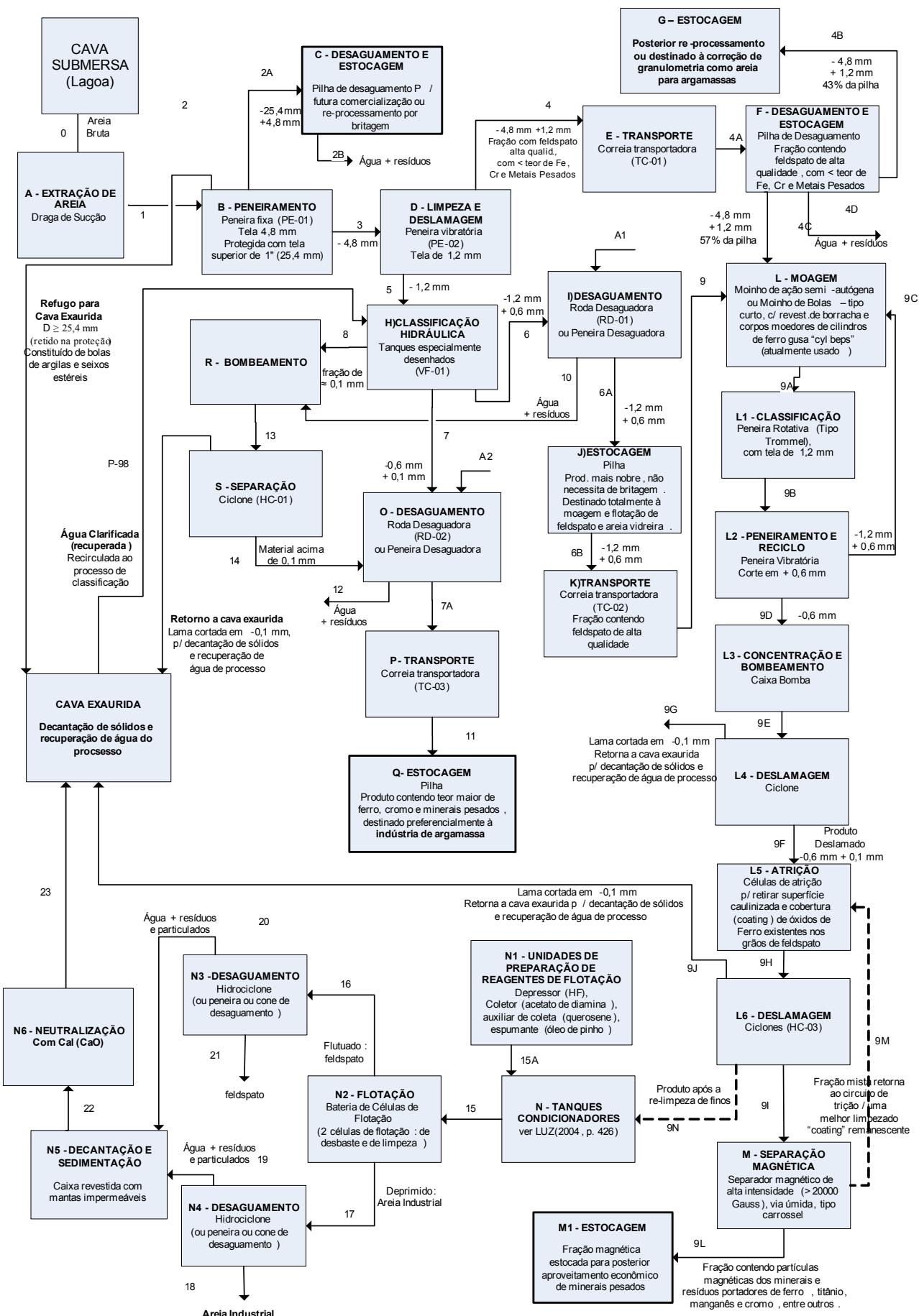


Figura 1.1 – Diagrama de blocos detalhado (figura adaptada de VALENTE, 2000)

2 – AS AREIAS INDUSTRIAS

2.1 – A importância das areias industriais

Determinadas matérias primas são abundantes na superfície da terra. Essa constatação reforça a possibilidade da descoberta de jazidas próximas aos centros consumidores, muito importante nos dias de hoje, pois o frete do transporte de matérias-primas entre o local de extração e o de consumo pesa consideravelmente no custo final do produto (NAVA, 1997).

Uma das matérias-primas industriais mais importantes (em todos os países) é a areia, porque possui características indispensáveis a determinadas aplicações, dificilmente obtidas a partir de materiais sintéticos ou de outros minerais (considerando-se, inclusive, os aspectos econômicos do processo extrativo). Ainda hoje, as areias são insubstituíveis em muitas aplicações industriais e, pelo fato dos produtos finais, nos quais há sua utilização, serem cada vez mais elaborados, aperfeiçoados e com especificações mais rígidas, é de importância fundamental que os mineradores forneçam essa matéria prima dentro das especificações padronizadas exigidas pelas indústrias consumidoras (Nava, 1997).

As **areias industriais** são, por definição, aquelas beneficiadas para serem usadas como insumo mineral pela indústria (NAVA, 1997). As areias para fins industriais caracterizam-se por apresentarem teores elevados de sílica, maior grau de pureza e pela ausência de substâncias contaminantes, como, por exemplo, o ferro. Por isso, atingem preços elevados e podem ser consumidas nas indústrias cerâmicas, de vidro, químicas e de abrasivos (JUNIOR, J.T.A. 2004). As **areias industriais** recebem denominações próprias em função de suas aplicações, as quais são determinadas pelo conjunto de suas propriedades, sendo as principais: teor de sílica, pureza, granulometria, composição química, óxido de ferro, álcalis, matéria orgânica, perda ao fogo, umidade (teor de água), formato dos grãos, teor de argila, etc (RUIZ, 1990). Também recebem outras denominações em função da sua origem mineralógica.

2.2 – Características Tecnológicas Básicas das Areias Industriais

As principais características básicas que tornam possível sua ampla utilização são: a **distribuição granulométrica**, a **forma das partículas** (ou grãos), a **porosidade** e **permeabilidade** e a **composição química**.

Os sedimentos ou partículas são classificados de acordo com a dimensão principal ou característica ou nominal. Existem muitas escalas granulométricas no mundo, porém, as mais utilizadas são as de Atterberg (alemã) e Wentworth (americana). No Brasil, apesar de muitas empresas e instituições seguirem a americana, a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas também estabeleceu uma. (adaptado de Nowatzki e Zeltzer, 1979). É importante notar que as indústrias utilizam normalmente para os seus controles escalas granulométricas baseadas no sistema MESH, e uma das mais conhecidas é a escala adotada pela A.S.T.M. (American Society for Testing Materials) (NAVA, 1997). As tabelas seguintes são reveladoras.

A **distribuição granulométrica** de uma areia pode estar situada num intervalo amplo de tamanhos, que pode ser desdobrado em frações granulométricas adequadas a cada uso. A Associação dos Geólogos de Pernambuco (2005) divulga em seu glossário que, dentre as várias escalas granulométricas existentes no Brasil para a **classificação de sedimentos clásticos (ou detriticos)** empregadas em estudos sedimentológicos, utiliza-se principalmente a de **Escala de Wentworth** (conhecida desde 1922). Nessa escala de Wentworth, cada tipo de material difere do anterior de acordo com a razão constante meio ($\frac{1}{2}$) (Nowatzki e Zeltzer, 1979).

Aliás, diversos autores ou editoras republicam as tabelas da A.S.T.M com erros de datilografia ou digitação ou de aproximação de medidas que confundem os leitores iniciantes e podem até gerar cálculos e dimensionamento incorretos, mesmo que os valores sejam nominais, ao invés de reais. Por tais motivos, são apresentadas as tabelas de peneiras e classificação granulométrica referenciadas à A.S.T.M. constantes no texto do **Chemical Engineers' Handbook / Fourth Edition**.

TABELA 2.1 - ESCALA DE WENTWORTH
(AGP, 2005)

DENOMINAÇÃO	TAMANHOS
MATACÃO	> 256 mm
CALHAU OU BLOCO	256-64 mm
SEIXO OU CASCALHO OU PEDREGULHO	64-4 mm
GRÂNULO	4-2 mm
AREIA	2-0,062 mm
SILTE	0,062 - 0,004 mm
ARGILA	< 0,004 mm

TABELA 2.1 - ESCALA DE WENTWORTH (AMERICANA)
(NOWATZKI e ZELTZER, 1979)

Classificação de Wentworth	
Diâmetro em mm	Nome
256	Bloco de rocha
256 - 128	Matacão
128 - 64	Pedra
64 - 32	Pedregulho muito grosso
32 - 16	Pedregulho grosso
16 - 8	Pedregulho médio
8 - 4	Pedregulho fino
4 - 2	Pedregulho muito fino
2 - 1	Areia muito grossa
1 - 1/2	Areia grossa
1/2 - 1/4	Areia média
1/4 - 1/8	Areia fina
1/8 - 1/16	Areia muito fina
1/16 - 1/32	Silte grosso
1/32 - 1/64	Silte médio
1/64 - 1/128	Silte fino
1/128 - 1/256	Silte muito fino
1/256 - 1/512	Argila grossa
1/512 - 1/1024	Argila média
1/1024 - 1/2048	Argila fina

TABELA 2.3
U.S. SIEVE SERIES AND TYLER EQUIVALENTS (ASTM—E-11-61)
(Perry 4th, 1963)

SIEVE DESIGNATION		SIEVE OPENING		NOMINAL WIRE DIAM.		TYLER EQUIVALENT DESIGNATION
STANDARD	ALTERNATE	mm	in (approx. equivalents)	mm	in (approx. equivalents)	
107.6 mm	4.24 in	107.6	4.24	6.40	0.2520	
101.6 mm	4 in [†]	101.6	4.00	6.30	.2480	
90.5 mm	3 1/2 in	90.5	3.50	6.08	.2394	
76.1 mm	3 in	76.1	3.00	5.80	.2283	
64.0 mm	2 1/2 in	64.0	2.50	5.50	.2165	
53.8 mm	2.12 in	53.8	2.12	5.15	.2028	
50.8 mm	2 in [†]	50.8	2.00	5.05	.1988	
45.3 mm	1 3/4 in	45.3	1.75	4.85	.1909	
38.1 mm	1 1/2 in	38.1	1.50	4.59	.1807	
32.0 mm	1 1/4 in	32.0	1.25	4.23	.1665	
26.9 mm	1.06 in	26.9	1.06	3.90	.1535	1.050 in
25.4 mm	1 in [†]	25.4	1.00	3.80	.1496	
22.6 mm*	7/8 in	22.6	0.875	3.50	.1378	0.883 in
19.0 mm	3/4 in	19.0	.750	3.30	.1299	.742 in
16.0 mm*	5/8 in	16.0	.625	3.00	.1181	.624 in
13.5 mm	0.530 in	13.5	.530	2.75	.1083	.525 in
12.7 mm	1/2 in [†]	12.7	.500	2.67	.1051	
11.2 mm*	7/16 in	11.2	.438	2.45	.0965	.441 in
9.51 mm	3/8 in	9.51	.375	2.27	.0894	.371 in
8.00 mm*	5/16 in	8.00	.312	2.07	.0815	2 1/2 mesh
6.73 mm	0.265 in	6.73	.265	1.87	.0736	3 mesh
6.35 mm	1/4 in [†]	6.35	.250	1.82	.0717	
5.66 mm*	No. 3 1/2	5.66	.223	1.68	.0661	3 1/2 mesh
4.76 mm	No. 4	4.76	.187	1.54	.0606	4 mesh
4.00 mm*	No. 5	4.00	.157	1.37	.0539	5 mesh
3.36 mm	No. 6	3.36	.132	1.23	.0484	6 mesh
2.83 mm*	No. 7	2.83	.111	1.10	.0430	7 mesh
2.38 mm	No. 8	2.38	.0937	1.00	.0394	8 mesh
2.00 mm*	No. 10	2.00	.0787	0.900	.0354	9 mesh
1.68 mm	No. 12	1.68	.0661	.810	.0319	10 mesh
1.41 mm*	No. 14	1.41	.0555	.725	.0285	12 mesh
1.19 mm	No. 16	1.19	.0469	.650	.0256	14 mesh
1.00 mm*	No. 18	1.00	.0394	.580	.0228	16 mesh
841 micron	No. 20	0.841	.0331	.510	.0201	20 mesh
707 micron*	No. 25	.707	.0278	.450	.0177	24 mesh
595 micron	No. 30	.595	.0234	.390	.0154	28 mesh
500 micron*	No. 35	.500	.0197	.340	.0134	32 mesh
420 micron	No. 40	.420	.0165	.290	.0114	35 mesh
354 micron*	No. 45	.354	.0139	.247	.0097	42 mesh
297 micron	No. 50	.297	.0117	.215	.0085	48 mesh
250 micron*	No. 60	.250	.0098	.180	.0071	60 mesh
210 micron	No. 70	.210	.0083	.152	.0060	65 mesh
177 micron*	No. 80	.177	.0070	.131	.0052	80 mesh
149 micron	No. 100	.149	.0059	.110	.0043	100 mesh
125 micron*	No. 120	.125	.0049	.091	.0036	115 mesh
105 micron	No. 140	.105	.0041	.076	.0030	150 mesh
88 micron*	No. 170	.088	.0035	.064	.0025	170 mesh
74 micron	No. 200	.074	.0029	.053	.0021	200 mesh
63 micron*	No. 230	.063	.0025	.044	.0017	250 mesh
53 micron	No. 270	.053	.0021	.037	.0015	270 mesh
44 micron*	No. 325	.044	.0017	.030	.0012	325 mesh
37 micron	No. 400	.037	.0015	.025	.0010	400 mesh

*These sieves correspond to those proposed as an international (I.S.O.) standard.

It is recommended that wherever possible these sieves be included in all sieve analysis data or reports intended for international publication.

[†]These sieves are not in the fourth-root-of-2 series, but they have been included because they are in common usage.

As **formas das partículas (ou grãos)** podem ser: **angulares, arredondadas, irregulares e esféricas**. A forma dos grãos pode variar de um local para outro numa mesma jazida; dependendo do desgaste natural sofrido desde a sua liberação da rocha fonte, transporte e sua deposição final e de eventos posteriores, sendo essa característica importante, pois diversas aplicações requerem formas diferentes de grãos.

A **porosidade e permeabilidade** resultam da distribuição granulométrica e da compactação das partículas e estão relacionadas com o tamanho e a forma dos grãos.

A **composição química** influí não só na cor da areia (quando a cor pode ser considerada como critério de pureza), como também no seu desempenho. A composição química pode variar de uma jazida para outra, devido às impurezas ou contaminantes minerais presentes. É necessário que a areia seja predominantemente silicosa e existem jazidas que possibilitam a extração e produção de sílica praticamente pura. Pelo fato de serem constituídas de grãos de quartzo, as areias constituem-se em preciosas fontes de sílica (o quartzo é sílica pura) e apresentam, ainda, um desempenho de "**inércia química**" (o quartzo é pouco susceptível a reações químicas), **refratariedade** (o quartzo tem ponto de fusão elevado) e **resistência mecânica elevada** (característica própria do quartzo) (NAVA, 1997).

2.3 – Principais Aplicações das Areias Industriais

Cada aplicação tem especificações próprias, que podem variar de consumidores. Por esse motivo, São mencionadas aqui apenas as variedades e, em seguida, as especificações mais gerais referentes a alguns dos usos das areias industriais. Algumas características indispesáveis a determinados usos podem ser dispensáveis em outros. Por exemplo: a **refratariedade** é uma característica fundamental para as areias-base utilizadas em fundição e na fabricação de refratários, mas, por outro lado, é inconveniente na fabricação de vidro, tornando obrigatório o uso de fundentes. Os **grãos angulares** de uma areia são convenientes na fabricação de vidro, pois a fusão é iniciada nas pontas e arestas dos grãos, mas são indesejáveis em processos de fundição, pois possibilitam a formação de finos por desgaste, consequentemente diminuindo a permeabilidade do molde. **Grãos arredondados** ou **esféricos**; de tamanho uniforme, são adequados para uso em filtros, devido à alta permeabilidade gerada no artefato ou leito empregado, mas indesejáveis em fundição, porque conferem menor resistência e possibilitam a expansão do molde (NAVA, 1997).

TABELA 2.4
APLICAÇÕES USUAIS DAS AREIAS NAS INDÚSTRIAS

SETOR DE CONSUMO	IMPORTÂNCIA DAS AREIAS
FABRICANTES DE VIDROS Ref.: NAVA (1997), HERMANN (1992 a., p. 20)	<ul style="list-style-type: none"> - presente nos vidros num teor médio de 60 a 80% em peso; - variedades: vidros planos, embalagens, utensílios domésticos, vidros especiais para laboratório e vidros ópticos.
INDÚSTRIAS CERÂMICAS Ref.: NAVA (1997), HERMANN (1992 a., p. 21)	<ul style="list-style-type: none"> - na composição das massas cerâmicas como fonte de SiO₂. - variedades: louças, ladrilhos, pastilhas esmaltadas, refratários, etc.
FUNDIÇÕES DE METAIS Ref.: NAVA (1997). Segundo CHAVES (1971)	<ul style="list-style-type: none"> - a areia-base é o principal constituinte dos moldes para fundição de peças metálicas; é o ramo tecnológico mais desenvolvido, - as areias visam resistir às solicitações térmicas, mecânicas e químicas, desde o vazamento do metal fundido até a solidificação das peças produzidas - variedades: areia verde, areia verde com secagem superficial (secagem a chama), areia estufada (aglomerada com óleos secativos), areia de macho, processo Randupson (areia aglomerada com cimento), areia aglomerada com resinas, processo "shell molding" (areia aglomerada com resina termostável sobre matriz), processo CO₂, processo Antioch (areia aglomerada com gesso).
METALURGIA OU SIDERURGIA, CHAVES (1971), HERMANN (1992),	<ul style="list-style-type: none"> - constituem fontes de SiO₂, para formar leitos de fusão em processos pirometalúrgicos de preparação de ferro ligas e na fabricação de sínter; - consumidas na metalurgia de não-ferrosos durante a produção de cobre secundário, para coletar escórias no processo de refino do cobre.
INDÚSTRIAS QUÍMICAS	<ul style="list-style-type: none"> - na produção de tintas refratárias para fundição, - como carga mineral de emulsões asfálticas, - como carga de fabricação de explosivos, - na fabricação de silicato de sódio (vidro solúvel), - produção de sílica amorfa consumida por fabricantes de borrachas, - agente de moagem de pigmentos na fabricação de tintas
INDÚSTRIAS DE CIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> - são consumidas na produção de cimentos de alta resistência inicial.
FERTILIZANTES E DEFENSIVOS AGRÍCOLAS	<ul style="list-style-type: none"> - são empregadas como carga de enchimento (veículo) de seus produtos
ABRASIVOS	<ul style="list-style-type: none"> - em jateamentos para limpeza de superfícies, - polimentos de pedras e vidros, e - na composição de peças abrasivas;
REFRATÁRIOS ÁCIDOS	<ul style="list-style-type: none"> - entram na composição dos manufaturados refratários, ou - são usadas diretamente na forma de refratários apisoados;
MEIOS FILTRANTES	<ul style="list-style-type: none"> - constituem o elemento granular em equipamentos de filtragem e purificação de águas e efluentes industriais
MEIOS DE TROCA TÉRMICA	<ul style="list-style-type: none"> - atuam como meio de transferência de calor entre a fonte de aquecimento e o corpo a ser aquecido nos banhos de areia, aparelhos de têmpera em areia fluidizada, etc.;
PADRÃO PARA MEDIDAS FÍSICAS	<ul style="list-style-type: none"> - as areias são padronizadas química e fisicamente para testes de concretos e de aglomerados de moldagem para fundição, et
DESMONTE HIDRÁULICO DE DEPÓSITOS MINERAIS	<ul style="list-style-type: none"> - são aditivos utilizados juntamente com jatos d'água de alta pressão nos processos de extração de minérios em barrancos;
FRANC SAND OU AREIA DE FRATURAMENTO OU ESCOAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> - atua para estimular ou forçar uma maior produção de poços de petróleo em desenvolvimento, cuja produção começou a declinar, através da injeção da areia nas fraturas das rochas reservatório, de modo a abri-las para permitir um melhor fluxo de óleo ou gás;
ANTI-DERRAPANTE FERROVIÁRIO	<ul style="list-style-type: none"> - em dias de chuva, é lançada sobre trilhos serve <u>para melhorar a força de tração de locomotiva</u>
INDÚSTRIAS DE ALTA TECNOLOGIA	<ul style="list-style-type: none"> - os ramos industriais de (eletrônica, óptica, cerâmica, informática, telecomunicações, e outras) utilizam quartzo cristalino de alta pureza como fonte de silício.

2.4 – Especificações Usuais para as Areias Industriais

TABELA 2.5
CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS PARA CONSUMOS DE AREIAS INDUSTRIAIS
(1ª PARTE)

SETORES DE CONSUMO	DEMANDAS DE QUALIDADE
VIDRARIA E CERÂMICA Ref.: CHAVES (1971) HERMANN (1992)	<ul style="list-style-type: none"> - granulometria: usa-se material a 0,6 mm, com menos de 2% à 0,105 mm, - as areias ou quartzito moído de tão alta pureza, - deve conter alto teor em sílica, - as impurezas (sempre traços) variam dependendo do uso ou cor do vidrado, - ausência ou reduzido teor de ferro; - $Al_2O_3 < 0,025\%$ e óxido de ferro (Fe_2O_3) $< 0,020\%$.
FUNDIÇÃO Ref.: CHAVES (1971)	<ul style="list-style-type: none"> - resistir à sinterização na fundição para que não haja adesão ou penetração de areia no metal; - possuir alta permeabilidade para permitir o desprendimento dos gases gerados no processo de moldagem, após o a injeção do molde pelo material fundido; - exibir propriedades mecânicas (dureza, resistências à tração, ao císalhamento e à compressão) satisfatórias não só a verde como também estufada; - deve resistir à deterioração, pelo uso ou pela reciclagem; - a areia para machos deve apresentar ainda colapsabilidade.
METALURGIA E SIDERURGIA Ref.: CHAVES (1971)	<ul style="list-style-type: none"> - ajustar a formação e a composição de escórias em fornos metalúrgicos, para remoção e consumo por fabricantes de cimentos Portland e para aplicações cimentícias.
Preparação de Ferro-ligas	<ul style="list-style-type: none"> - $Al_2O_3 < 0,4\%$; Fe total até 0,2%; Óxidos básicos $< 0,3\%$; - Titânio o mínimo possível; - P e As inadmissíveis, devido a toxidez dos vapores. - Sílica opalina prejudica por causa da introdução de água. - granulometria com diâmetro médio de cerca de 2,67 mm com todas as partículas menores que 1,68 mm, para permitir uma respiração adequada ao forno.
Fabricação do fósforo elementar	<ul style="list-style-type: none"> - conglomerados e quartzitos. - Granulometria a 1,87 mm, com menos que 5% a 1,19 mm; - teores de $SiO_2 > 90\%$; - 2,5% de água máxima no material lavado. - Fe_2O_3, CO_2 e Al_2O_3 até 1,5% cada. - $CaO < 0,2\%$.
INDÚSTRIAS QUÍMICAS Ref.: CHAVES (1971)	<ul style="list-style-type: none"> - Geralmente prefere-se usar quartzitos e arenitos moídos;
Preparação de silicato de sódio com carbeto de silício	<ul style="list-style-type: none"> - teor de SiO_2: em quartzitos de 97-99%, e em areia do mar de 98,5-99,5%; - teor de Al_2O_3: em quartzitos de 0,5-2%, e em areia do mar de 0,3-0,7%; - teores de Fe_2O_3 e TiO, não são relevantes para esta aplicação. - tamanho uniforme de grão.
ABRASIVOS Ref.: CHAVES (1971)	
Polimento de vidro	<ul style="list-style-type: none"> - deve ser limpa, sã, livre de material estranho; - de granulação fina até média, adequadamente bitolada - usa-se areia, arenito e quartzito.
Polimento de pedras de cantaria	<ul style="list-style-type: none"> - material silicoso relativamente puro, sã, - bem classificado, de granulação grosseira, sem grãos chatos e finos. - inexistem especificações rigorosas para a textura ou para a qualidade. - exige-se apenas alta sílica livre e ausência de argila, mica ou rocha branda. - usam-se, geralmente, areias de terraços fluviais e materiais de morainas, após lavagem e peneiramento

TABELA 2.5
CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS PARA CONSUMO DE AREIAS INDUSTRIAIS
(2^a PARTE)

SETORES DE CONSUMO	DEMANDAS DE QUALIDADE
REFRATÁRIOS ÁCIDOS	
sílica para artefatos refratários	<ul style="list-style-type: none"> - preferência a quartzitos ou a arenitos. - controle químico cuidadoso de: $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0,1\%$; Fe total de 0,2 a 0,4%; CaO < 1%; álcalis < 0,5%; titânio: somente traços; perda ao fogo < 0,5%. - granulometria deve prover adensamento máximo.
areia de soleira ("fire sand")	<ul style="list-style-type: none"> - usada para consertos em revestimentos de fornos; - serve qualquer areia misturada com argila plástica, suficiente para conferir-lhe plasticidade; - finos do tamanho silte são desejáveis, pois sinterizam bem; - da mesma forma impurezas tipo óxidos de ferro ajudam a dar ligação. A granulometria geralmente usada é < 2,27 mm.
semí-silica	<ul style="list-style-type: none"> - é uma mistura auto-ligante, aplicada no local e apisoada, - é composta de proporções variáveis de rocha quartzosa ou seixos moídos, mais argila, para ser usada em cadinhos e fornos cubilô.
areia de bica	<ul style="list-style-type: none"> - é uma areia grossa, com teor moderadamente alto em argila ligante natural, - qualquer areia de sílica serve, bastando ter a plasticidade necessária. Não existem especificações nem de finura nem de permeabilidade. - apenas o ponto de sinterização deve ser suficientemente alto para não haver queima da areia e destacamento e para balanço dos materiais em operação de sinterização, como componente na preparação de ferro-ligas ao silício.
AGENTE OU MEIO FILTRANTE	<ul style="list-style-type: none"> - areia em camadas sucessivas de granulação gradativa para remover bactérias e turbidez das águas municipais e industriais. - cada camada deve ser rigidamente bitolada: - tamanhos típicos variam de 2,07 mm a 6,3 mm e 6,3 mm a 2,38mm; - se as águas são agressivas, ela não pode exceder 10% para diâmetros superiores a 9,5 mm e 5% para tamanhos menores; - se o pH das águas tratadas é superior a 8, a solubilidade ácida do cascalho não tem muita importância; - densidade $\geq 2,6$. - Máximo de 2% p/p de fragmentos chatos ou alongados; - ausência de impurezas: argila, silte, rocha estranha ou matéria orgânica; - porosidade após a colocação deve ser de 35 a 45%.
MEIO DENSO PARA LAVAGEM DE CARVÃO BETUMINOSO OU ANTRACITO	<ul style="list-style-type: none"> - densidade maior ou igual a 2,46 (equivale a grãos de quartzo livre com fragmentos de rocha de baixa densidade, e a grãos sub angulares ou arredondados e livres de arestas agudas); - películas superficiais de óxido de ferro são aceitas se aderem com firmeza e não são removidas no processo; - argila em teores inferiores a 0,5%; - ausência de matéria orgânica. - granulometria ideal: diâmetro (nominal) de 0,297 mm, toda em -0,595mm + 0,149mm, com tolerância de 5 % em cada ponta
AREIA PADRÃO PARA MEDIDAS FÍSICAS	<ul style="list-style-type: none"> - lavada e seca
AREIA PARA DESMONTE HIDRÁULICO	<ul style="list-style-type: none"> - As distribuições de tamanho e as características texturais e estruturais; - granulometria de -1,19 +0,250 mm, com um mínimo de 80% a -0,841 +0,420 mm; - Quando possível, prefere-se 100% a -0,841 +0,595 mm, - densidade $> 2,7$, - resistência à compressão da ordem de 2500 psi.
AREIA DE TRAÇÃO PARA LOCOMOTIVAS	<ul style="list-style-type: none"> - areia sã e "free flowing" (com boa fluidez); - granulometria média bem classificada no intervalo de -0,841 + 0,210 mm; - ausência de fragmentos de rocha mole ou macia ou branda

2.4.1 – Consumo para vidros e cerâmica

Geralmente, cada fábrica possui suas próprias especificações, e cada recebimento de lote é inspecionado através de um ensaio prático, comparando amostra(s) de cada carregamento adquirido com padrões de materiais bem conhecidos. Outras preferem dispor de dois ou mais fornecedores e proceder ao “*blending*” (mistura) de seus lotes. A exigência mais insistentemente feita é a da constância das características do material fornecido, que encarece o material. Esse é a única aplicação de areia na qual é compensador transportar os lotes para longe do local de extração (CHAVES, 1971).

De acordo com MAIA (2003), no Rio de Janeiro, devido a dificuldade de se encontrar areia de boa qualidade disponível para extração, as fábricas de vidro locais usam o quartzito em substituição à areia, sendo que este quartzito vem da região de São João Del Rey e Tiradentes, em Minas Gerais.

2.4.1.1 - Granulometria para consumo em vidros e cerâmica

Segundo CHAVES (1971), normalmente, usa-se material a -30# (0,6 mm), com menos de 2% à -140# (0,105 mm). Neste caso a granulometria não é muito importante, exceto na questão que não deve haver finos, pois como a operação é contínua, o material fino levantado em uma extremidade da linha pode ir depositar-se sobre o produto acabado na outra extremidade, prejudicando-o.

A Associação Técnica das Indústrias Automáticas de Vidros (ATBIAV), realizou estudos visando a padronização das matérias-primas para elaboração do vidro, tendo especificado 3 tipos de areia. A areia B e C deverão ser 100% passante em peneira de 0,58 mm, 80 a 90% retido em 0,180 mm e 98% no mínimo retido em 0,091mm (NEVES, 1990). Segundo VALENTE (2000), a granulometria da areia exigida pela indústria vidreira situa-se aproximadamente entre 0,6 mm e 0,1 mm.

2.4.1.2 - Composição química para vidros e para cerâmica

Segundo HERMANN (1992), a areia para vidraria deve conter alto teor em sílica. As mais utilizadas são areias de praia, devido à sua pureza. Neste setor industrial, as especificações químicas são fundamentais, ao contrário do que ocorre no caso das areias destinadas à construção civil.

Um exemplo da importância das especificações químicas da areia foi citado por MAIA (2003) refere-se aos baixos altos teores de ferro na areia, pois concentrações elevadas conferem uma certa coloração verde ao vidro. A fabricação de vidros tem como um dos limitantes mais sérios a contaminação de ferro, cromo e minerais pesados (VALENTE et al, 2000). E segundo Weiss (1985), areia destinada a produção de vidros requer teores de ferro inferiores a 0,03%.

CHAVES (1971) destacou, que o Al_2O_3 e o óxido de ferro são as impurezas mais comuns das areias e devem ser mantidas em níveis extremamente baixos, com teores de $Al_2O_3 < 0,025\%$ e óxido de ferro (Fe_2O_3) $< 0,020\%$. Caso contrário, é necessário o uso de descorantes para vidraria branca, os quais, além de caros, diminuem o brilho. É desejável ainda $CaO < 0,05\%$ e álcalis $< 0,01\%$.

Segundo NEVES (1990), são exigidos teores mínimos de SiO_2 (em média 99,3%), teores máximos de Al_2O_3 (1,0 %) e de Fe_2O_3 . O teor de óxido de ferro deve ser minimizado porque produzir a cor verde indesejável em alguns produtos. Os limites máximos permitidos para o Fe_2O_3 na areia situam-se entre 0,015% e 0,10% (NEVES, 1990).

Segundo HERMANN (1992) a areia para a produção de vidrarias deve possuir, a seguinte especificação química:

TABELA 2.6**ESPECIFICAÇÕES QUÍMICAS DA AREIA PARA A INDÚSTRIA VIDREIRA**
(HERMANN, 1992)

COMPONENTES	TIPO A *	TIPO B*	TIPO C*	TIPO D*
SiO₂ (min.)	99,5	99,5	99,4	99,0
Al₂O₃ (max.)	0,20	0,20	0,30	0,50
Fe₂O₃ (max.)	0,002	0,015	0,03	0,15
TiO₂ (max.)	0,02	0,02	0,03	0,05
Ca₂O₃ (max.)	0,0002	0,0003	0,0005	0,0005
PF (max.)	0,10	0,20	0,20	0,30

* Observação:

Tipo A - vidros especiais (óticos, oftálmicos, etc.).

Tipo B - vidros brancos de alta qualidade (cristais, frascarias e artigos de mesa).

Tipo C - vidros brancos comuns (embalagens em geral e planos).

Tipo D - vidros coloridos (frascarias, embalagens em geral e vidros planos).

Segundo RUIZ (1990), as areias e quartzitos destinados à indústria cerâmica de refratários precisam ser constituídos basicamente por sílica e possuir quantidades muito pequenas de argilominerais e outros minerais ricos em álcalis, óxidos de ferro e matéria orgânica.

TABELA 2.7**COMPOSIÇÕES TÍPICAS DE DIFERENTES TIPOS DE VIDRO**
(NEVES, 1990)

Composição	TIPOS DE VIDRO										Termômetro de vidro
	Janela	Recipiente	Pirex	Fibra Têxtil	Opala	Silica leve (light final)	Silica Pesada (heavy final)	Sílica Pessaada (barium crown)	Coroa de bário (barium crown)	Coroa (crown)	
SiO₂	72,1	72,5	80,5	54,0	65,8	67,4	46,1	59,1	72,2	67,5	
B₂O₃	-	-	11,8	10,0	-	-	-	3,0	5,9	2,0	
Al₂O₃	1,1	1,9	2,0	14,0	6,6	1,7	0,1	0,1	-	-	2,5
Fe₂O₃	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As₂O₃	-	-	0,7	-	-	-	0,4	0,3	0,2	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	3,9	-	5,0	-	-	7,0
CaO	10,2	9,8	0,3	17,5	10,1	0,4	0,1	0,1	2,1	7,0	
MgO	2,6	0,1	0,1	4,5	-	-	-	-	0,1	-	-
BaO	-	0,7	-	-	-	-	-	19,1	-	-	-
PbO	-	-	-	-	-	10,7	45,1	-	-	-	-
K₂O	-	0,8	0,2	-	9,6	0,1	6,8	9,7	13,9	-	-
Na₂O	13,6	13,7	4,4	-	3,8	15,1	1,7	3,2	5,2	14,0	
Sb₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-
SO₃	-	-	-	-	-	-	0,1	-	0,1	-	-
F₂	-	-	-	-	5,3	-	-	-	-	-	-

2.4.2 - Consumo para fundição

Um molde para fundição metalúrgica é caracterizado por ser (durante e após sua conformação) um material heterogêneo constituído de um elemento granular refratário (a areia base) e de um elemento aglomerante mineral (argila) ou orgânico (óleos, derivados de cereal, etc.). Cada técnica de fundição exige uma areia com as características adequadas. Atualmente, o assunto está muito bem regulamentado, principalmente pelas normas da *American Foundrymen Society*. O comportamento e as características das areias de fundição dependem da distribuição granulométrica, do tipo de ligação do aglomerante, da forma dos grãos e da textura, do tipo e da quantidade de aditivos, da extensão da mistura sofrida, etc. Como é muito difícil combinar essas demandas com as características de um material natural, torna-se, freqüentemente, necessário recorrer a materiais sintéticos ou semi-sintéticos (corrigidos), que são obtidos tomando-se os materiais-base mais indicados, dosando-os adequadamente e misturando-os.

As características gerais para as areias de fundição são: 1^a - resistir à sinterização na fundição para que não haja adesão ou penetração de areia no metal; 2^a - deve ter alta permeabilidade para permitir o desprendimento dos gases gerados no processo de moldagem, após o a injeção do molde pelo material fundido; 3^a - deve ter propriedades mecânicas (dureza, resistências à tração, ao cisalhamento e à compressão) satisfatórias não só a verde como também estufada; 4^a - deve resistir à deterioração, pelo uso ou pela reciclagem; (CHAVES, 1971). Segundo a NBR 12672, a areia-padrão para ensaios em fundição deve atender a todos as características e cuidados listados na Tabela a seguir, caso contrário, a areia padrão deve ser rejeitada.

TABELA 2.8
COMPOSIÇÕES DE AREIA PADRÃO PARA ENSAIOS DE FUNDIÇÃO
(NBR 12672/1992)

CARACTERÍSTICAS	VALOR/ DESCRIÇÃO
Materiais orgânicos ou outras partículas estranhas.	isenta
Acondicionamento do material	Em sacos plásticos, perfeitamente vedados, sem sinais de danos, devidamente identificados com nome comercial, fornecedor do produto e número do lote.
Quantidade por embalagem (kg)	4,2
Semelhança entre as características do material contido em diferentes embalagens	O mais rigorosamente iguais, quanto possível.
Conteúdo dos certificados de análises que toda remessa de areia-padrão para ensaios em fundição deve vir acompanhada	Resultados de ensaios todas as características constantes da Tabela, determinados conforme as NBR 9609, NBR 9767, NBR 10180, NBR 12110, NBR 12111, NBR 12140 e NBR 12634.
Preparo do material para as análises	Antes de se efetuar a análise do material, todo conteúdo da embalagem deve ser perfeitamente homogeneizado.
Estocagem	Deve ser efetuada em área coberta, ao abrigo de chuva e de umidade. Nestas condições, o tempo de estocagem é ilimitado.
Teor de umidade (%)	máximo 0,1
Teor de SiO₂ (%)	mínimo 99,0
Teor de argila total (%)	máximo 0,1
Superfície específica teórica (cm²/g)	95 - 107
Tamanho de grão médio (mm)	0,230 - 0,260
Coeficiente de angularidade	1,20 - 1,40
Módulo de finura	55 - 61
Valor da demanda de ácido (mL HCl 0,1 N/50 g de areia a pH 2)	máximo 3,0
Permeabilidade-base (AFS)	110 - 140
Número específico teórico de grãos (dez unidades/g)	7,0 - 10,0
Diâmetro representativo (mm)	0,188 - 0,211
Grau de afastamento (%)	10,0 - 13,0

2.4.3 -Consumo para artefatos de argamassas com cimento Portland

Existem inúmeros tipos comerciais de argamassas, cada qual requerendo diferentes granulometrias de areia seca. A argamassa de assentamento, por exemplo, é produzida a partir de areia classificada entre 1,2 mm e 0,15 mm. As argamassas adesivas exigem areias entre 0,6 e 0,3 (VALENTE, 2000).

Conforme a NBR 7215/1996 Cimento Portland – Determinação resistência à compressão, a areia é um dos componentes para a preparação de uma argamassa e para isto deve atender as especificações da norma NBR 7214/1982: “Areia Normal para ensaios de cimento - especificação”. Nessa norma a “**areia padrão**” identificada como “**areia normal**” é definida como “material quartzoso, extraído do Rio Tietê, na região do município de São Paulo, em direção à nascente, produzido e fornecido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo” e que satisfaz as condições específicas descritas na tabela a seguir:

TABELA 2.9 – ESPECIFICAÇÕES DE AREIA NORMAL PARA ENSAIO DE CIMENTO

(NBR 7214/1982)

CARACTERÍSTICAS		VALOR/ DESCRIÇÃO		
		A areia normal deve estar separada, para fins de transporte e estocagem, nas seguintes frações granulométricas:		
Granulometria		Classificação	Faixa	Percentual retido, acumulado, em peso
		Grossa	-2,4mm +1,2 mm	30 ± 5 %
		Média Grossa	-1,2mm +0,6mm	50 ± 5 %
		Média Fina	-0,6mm +0,3mm	75 ± 5 %
		Fina	-0,3mm +0,15mm	97 ± 3 %
Teor de Material Pulverulento		- não deve ser superior a 1,0% em peso.		
Umidade		- na ocasião da utilização, deve ser no máximo, 0,2% em peso.		
Teor de Conglomerados Argilosos		- o teor deste material retido na peneira de 0,6 mm (ABNT n° 30), deve ser no máximo, 1,0% em número de grãos.		
Teor de Feldspato		- a fração de areia normal no intervalo de -2,4 mm e +0,6mm não deve apresentar teor maior que 15% em número de grãos.		
Teor de Mica		- a fração de areia normal no intervalo -0,3mm + 0,15mm não deve apresentar teor maior que 2% em número de grãos.		
Matéria Orgânica		- a areia normal deve apresentar um índice de coloração, em termos de ácido tânico, não superior a 100 ppm.		

Segundo informações fornecidas durante uma visita a unidade industrial da empresa “Quartzolite”, localizada na região de Seropédica-Itaguaí, as especificações exigidas por esses produtores para as faixas granulométricas são: -0,725mm +0,580mm e -0,180mm +0,091mm.

2.4.4 - Consumo como agente ou meio filtrante:

Para a remoção de bactérias e turbidez das águas municipais e industriais emprega-se cascalho quartzoso, lavado e bitolado, e areia em camadas sucessivas de granulação gradativa. Cada camada deve ser rigidamente bitolada, sendo esse fator crítico. A densidade deve ser maior ou igual a 2,6. Não se tolera mais que 2% em peso de fragmentos chatos ou alongados. Impurezas como argila, silte, rocha estranha ou matéria orgânica não podem estar presentes. A porosidade após a colocação deve ser de 35 a 45%. Os tamanhos típicos vão de 2,07 mm a 6,30 mm e 6,30 mm a 2,38mm. Se o pH das águas tratadas é superior a 8, a solubilidade ácida do cascalho não tem muita importância. Entretanto, se as águas são agressivas, ela não pode exceder 10% para diâmetros superiores a 9,5mm e 5% para tamanhos menores.

As tabelas seguintes apresentam os dados de caracterização tecnológica típicos para areias e seixos rolados empregados em processos consagrados de tratamento de água para consumo municipal e industrial.

TABELA 2.10

ESPECIFICAÇÕES DE AREIA PARA FILTROS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

(JATCLAS, 2005)

AREIA FILTRANTE		
CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS	APLICAÇÕES:	
GRANULOMETRIA	EMPREGO EM: Filtro Lento Filtro Rápido Descendente Filtro Rápido Ascendente	GRANULOMETRIA (MM) 1,41 - 0,25 1,41 - 0,42 1,19 - 0,42 2,00 - 0,59
COMPOSIÇÃO QUÍMICA	ITENS ANALÍTICOS Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Al ₂ O ₃ Cão MgO H ₂ O	TEOR TÍPICO(%) 0,300 99,290 0,078 0,036 0,040 -
PESO ESPECÍFICO REAL	Areia filtrante (0,45 – 0,55mm): 2,64 g/mL	
GRAU DE ESFERICIDADE	Areia filtrante –TE (0,45 – 0,55mm): 0,80	

TABELA 2.11
ESPECIFICAÇÕES DE SEIXOS PARA FILTROS DE TRATAMENTO DE ÁGUA
(JATCLAS, 2005)

SEIXOS ROLADOS		
CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS	APLICAÇÕES:	
	EMPREGO EM: PRÉ-FILTROS	GRANULOMETRIA (MM)
GRANULOMETRIA		4,00 – 2,00 3,36 – 1,68 2,00 – 1,00
	FILTROS	38 – 19,10 19,10 – 12,70 12,70 – 6,35 6,35 – 3,36 3,36 – 1,19 3,36 – 1,68 3,36 – 2,38
COMPOSIÇÃO QUÍMICA	ITENS ANALÍTICOS	TEOR TÍPICO(%)
	Fe ₂ O ₃ SiO ₂ Al ₂ O ₃ CaO MgO H ₂ O	1,04 98,23 0,30 0,11 0,05 0,05
PESO ESPECÍFICO REAL	FAIXA DE SEIXO (MM)	VALOR (G/ML)
	4,00 – 2,00 19,10 – 12,70 12,70 – 6,35 6,35 – 3,36 3,36 – 1,19	2,64 2,60 2,60 2,64 2,64

3. AS VARIEDADES E ORIGENS GEOLÓGICAS DAS AREIAS INDUSTRIAIS

3.1 – Conceitos e definições para as areias

Uma **areia** é formada, principalmente por quartzo com alto teor de sílica. Dependendo da composição da rocha da qual é originária, pode agregar outros minerais como o feldspato, mica, zircão, magnetita, ilmenita, mònazita, cassiterita, entre outros. E em função dessa variedade, possui aplicações, também variadas. Aliás, quase todos esses minerais possuem grande resistência física e estabilidade química (NAVA, 1997).

Uma **areia** quando conceituada ou definida em relação ao tamanho de partícula é considerada como “qualquer material granular, não coesivo, situado num intervalo de tamanho de 0,0625mm a 2,0mm”. Uma areia pode ter sido transportada do seu local de origem para outro ponto geográfico por uma série de agentes, ter sofrido um processo natural de seleção e classificação, estratificação, acamação, e distribuição de suas partículas nos sentidos horizontal e vertical. Como resultado, cada interessado em sua exploração depara-se com uma certa variedade de materiais com as características citadas, apesar de terem sido originados de modos muito diferentes e com freqüências também diferentes no registro geológico. Ou seja, alguns desses materiais ocorrem com maior freqüência que outros, apesar de que, em termos de dimensões de suas partículas, todos podem ser denominados de “areia” (NAVA, 1997).

O termo **areia** apresenta muitas definições ou conceitos (NAVA, 1997). Na literatura geológica observa-se a preocupação em definir um intervalo de tamanho de partículas, e, também, classificar os depósitos pelas suas misturas com outros minerais, mesmo que tenham composições cristaloquímicas e dimensões diferenciadas (Fig. 1).



Figura 3.1 - Exemplo de nomenclatura de sedimentos clásticos mistos, esquema conceitual simétrico (Nava, 1997).

Uma **areia** pode ser constituída por um material detritico silicoso com variação do tamanho de partículas, composto principalmente por partículas de quartzo, que pode até possuir características favoráveis à acumulação de certos recursos (petróleo, água, minérios radioativos, etc.). Porém, as menções principais ao termo “areia” são feitas no sentido de representar um “material mineral granular não-coesivo, com tamanho de partículas situado entre limites definidos (variando de autor para autor), possuindo composição química e mineralógica variada e origem diversificada, a qual pode ser orgânica, química, vulcânica ou clástica. Os limites de tamanho mais aceitos correspondem à escala granulométrica Wentworth, na qual a fração areia está situada entre 0,0625mm (areia muito fina) e 2mm (areia muito grossa) (NAVA, 1997).

Para RUIZ (1990), **areia** significa “uma massa mineral inconsolidada, com alto teor de sílica, e por consequência de sua origem é constituída predominantemente por grãos de quartzo, os quais têm formas e texturas superficiais que podem variar amplamente”.

Nas indústrias consumidoras e produtoras desse bem mineral, os termos “**areia**” e “**areia quartzosa**” são equivalentes.

Outros minerais estão presentes nas areias, sendo os mais comuns feldspato, mica,

ilmenita, granada, turmalina, zircão, etc. A proporção com que esses minerais se apresentam nas areias confere características especiais às mesmas, como coloração, composição mineralógica, composição química, e acaba por atribuir a elas denominações específicas. É o caso, por exemplo, da areia monazítica, cuja cor é characteristicamente alaranjada ou avermelhada, devido à presença de monazita e outros minerais a ela associados nesse tipo de depósito, juntamente com o quartzo (NAVA, 1997).

Pode-se incluir nesta classe, além das **areias quartzosas**, uma série de materiais granulares utilizados com aplicações especiais, como é o caso das areias de cromita, olivina, zirconita, etc. Segundo RUIZ (1990), as areias para construção recebem comercialmente algumas denominações conforme o grau de elaboração que apresentam. São elas: **areia bruta** - areia que não foi beneficiada; **areia lavada** - areia que sofreu o processo de limpeza por simples lavagem; **areia graduada** - areia que obedece a uma classificação granulométrica previamente estabelecida.

3.2 – Os minerais de sílica que originam as areias industriais

As **rochas sedimentares** que formam os depósitos minerais que originam a extração de areias são classificadas em três grupos: rochas **clásticas ou detriticas**, rochas de **origem química** e rochas de **origem orgânica**. **O grupo de interesse específico é o das rochas clásticas, que geralmente resultam da ação mecânica dos agentes destruidores – água, vento, terremotos e ação solar – e que são constituídas por fragmentos minerais** (adaptado de Décourt, 1937).

As rochas clásticas podem ser subdivididas em dois grupos: **sedimentares móveis** (as partículas estão livres) e **sedimentares consolidadas** (os fragmentos encontram-se ligados por um cimento ou ligante natural). As rochas sedimentares móveis recebem nomes variados de acordo com o tamanho dos detritos e com a natureza do constituinte cristaloquímico. Entre tais rochas é possível distinguir: **seixos rolados ou pedregulho, cascalho, saibro, areia, argilas, blocos erráticos e morenas** (estes dois últimos de origem glacial) (adaptado de Décourt, 1937).

As areias para fins industriais são produzidas principalmente a partir de rochas e depósitos minerais encontrados nos sítios geológicos, dentre os quais são conhecidos os **aluviões** (quantidade de detritos provenientes de erosão recente, compostos de areia, argila, cascalho etc. e que são transportados e depositados por correntes de água; ger. contêm vários minerais valiosos), **arenitos** (rocha sedimentária de origem detritica formada de grãos agregados por um cimento natural silicoso, calcário ou ferruginoso que comunica ao conjunto em geral qualidades de dureza e compactação; é usado como material de construção em pavimentação) e **quartzitos** (rocha metamórfica consistindo especificamente em grãos de quartzo, formada por recristalização de arenito). Os processos de beneficiamento aplicados nesses minérios dependem da aplicação industrial a que se destinará a areia. Evidentemente, as aplicações cujas especificações são mais rígidas requerem não só tratamento mais eficiente e sofisticado, como também minérios de melhor qualidade e manuseio mais adequado das areias industriais prontas para uso (NAVA, 1997; HOUAISS, 2001).

3.2.1 – O quartzo

Segundo RUIZ (1990), o **quartzo** é um “mineral constituído por sílica (SiO_2) cristalizada e de ampla distribuição geográfica (pois é componente de uma grande variedade de rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares)”. O quartzo é composto de 46,7% de silício e 53,3% de oxigênio em peso, e ocorre, geralmente, sob a forma de cristais prismáticos terminados por uma combinação de romboedros positivos e negativos, que muitas vezes se parecem com uma pirâmide hexagonal. O quartzo possui resistência ao ataque químico, dureza elevada e uma série de propriedades que o tornam muito útil na indústria, destacando-se a piezoelectricidade, que consiste no desenvolvimento de cargas elétricas nas faces do quartzo, quando nelas são aplicados esforços mecânicos; e a sua capacidade de não voltar à forma primitiva quando sofre resfriamento, depois de um prévio aquecimento. Sabe-se, também, que a sílica (SiO_2) submetida a diferentes graus de temperatura e pressão dá origem

a distintas substâncias polimórficas. O quartzo simples, ou alfa-quartzo, é a forma estável da sílica em temperatura abaixo de 573 °C, cristalizada no sistema trigonal (NAVA, 1997).

3.2.2 – O quartzito

Uma variação do mineral quartzo seria o “quartzito”, que foi definido por RUIZ (1990) como uma “rocha metamórfica constituída essencialmente por grãos de quartzo dispostos em camadas”. Os quartzitos geralmente resultam do metamorfismo sofrido por certos arenitos, definidos por alguns autores como “arenitos metamorfizados”, nos quais o ligante ou cimento que unia grãos de areia se cristalizou. O metamorfismo citado é o conjunto de processos pelos quais os depósitos detriticos ou outros tipos de rocha são transformados pela ação de temperatura, pressão, gases, vapor d'água, etc.

O quartzito é uma rocha constituída de cristais irregulares de quartzo, unidos por um cimento de sílica quase pura. Sua extração é fácil por não constituir uma rocha muito dura e, geralmente, se apresenta com teores baixos de óxido de ferro. Deve sofrer peneiramento para satisfazer às diferentes especificações de granulometria (MAIA, 2003).

3.2.3 – O cascalho

Outro material arenoso é o cascalho, que apresenta granulometria superior à dimensão nominal máxima da areia grossa (2,0mm) e inferior a 256mm. E quando esse material é aproveitado economicamente, geralmente é obtido como um subproduto da exploração de areias (RUIZ, 1990)

De acordo com BAUER (1994), **o cascalho**, também chamado de **pedregulho**, é um sedimento fluvial de rocha ígnea, inconsolidado, formado de grãos de diâmetro em geral superior a 5 mm, podendo os grãos maiores alcançar diâmetros até superiores a cerca de 100 mm. O cascalho também pode ser de origem litorânea marítima. Seu coeficiente volumétrico médio é superior a cerca de 0,15, ou seja: acima de 90% de grãos cúbicos. Os grãos são de forma arredondada devido à atração causada pela movimentação da água dos rios ou do mar, razão pela qual serem os grãos também denominados seixos rolados. Como as arestas vivas foram eliminadas, o cascalho apresenta grande resistência ao desgaste ao ser manuseado. Concretos que têm cascalho como agregado graúdo apresentam, em igualdade de condições de traço, maior trabalhabilidade do que os preparados com brita (BAUER, 1994, p.84). **Décourt (1937) denominava seixos de pedregulho, diferenciando estes de cascalho. Houaiss (2001) considere cascalho, seixos e pedregulhos como sinônimos.**

3.2.4 – Feldspato

Um dos minerais da areia de grande relevância para a indústria vidreira, segundo NEVES (1990), é o **feldspato**, pois é utilizado na produção de todos os tipos de vidro (embalagens, plano, iluminação, cinescópio, doméstico, fibras de vidro e vidros especiais). Sua função principal é fornecer a alumina ao vidro. Além da alumina, são incorporados ao vidro o sódio e o potássio, em níveis dependentes dos teores desses elementos no minério (feldspato, sódio ou potássio). Quando essa incorporação é indesejada, o feldspato pode ser substituído pelo hidrato de alumínio, embora com maiores riscos. Sendo uma importante fonte de Al_2O_3 para a formulação de misturas de matérias-primas (“batches”), o feldspato pode ser obtido com composição bem constante, com baixos teores de ferro, e outros elementos indesejáveis. Também fornece outros óxidos úteis ao vidro, não têm constituintes voláteis e não apresenta perda ao fogo. Funde-se no intervalo de 1100°C a 1200°C e dissolve-se rapidamente nas matérias-primas em fusão durante o processo de fabricação. É representado pela fórmula geral $R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ (silicato duplo de alumínio + R_2O), na qual R_2O representa um óxido alcalino: Na_2O , K_2O , uma mistura de ambos ou CaO (MAIA, 2003).

Conforme NEVES (1990), as especificações do feldspato para a indústria do vidro variam em função do produto final. São exigidos, normalmente, teores mínimos de Al_2O_3 e de álcalis (K_2O e Na_2O), teores máximos de sílica (SiO_2), de Fe_2O_3 bem como de óxidos corantes (CaO e MgO). A Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro – ATBIAV,

visando normalizar as especificações das matérias-primas para a indústria do vidro admite considera quatro tipos básicos de feldspato para produção de vidro (vide tabela 5) .

TABELA 3.1
TIPOS BÁSICOS DE FELDSPATO PARA A PRODUÇÃO DE VIDRO
(NEVES, 1990, p.133)

Itens Analíticos	TIPOS			
	A	B	C	D
K ₂ O	11,0 a 12,6	13,5 mín	12,0 mín	11,5 máx
Na ₂ O	2,5 a 3,5	-	-	-
SiO ₂	64,5 a 65,5	67,0 máx	70,0 máx	70,5 mín
Al ₂ O ₃	19,0 a 20,0	17,5 mín	15,0 mín	14,5 mín
Fe ₂ O ₃	0,10 máx	0,10 máx	0,30 máx	0,35 mín
CaO	0,04	-	-	-
MgO	-	-	-	-
Perda ao Fogo	1,0 máx	1,0 máx	1,5 máx	-

Quanto à granulometria a ATBIAV especifica apenas para o tipo A, este feldspato deverá ser 100% passante em peneira de 1,19 mm, 2% no máximo retido em 0,841 mm e 70 a 80% retido em 0,105 mm (NEVES, 1990). Segundo NEVES (1990), a metade do feldspato consumido pela indústria de vidro provém do próprio Estado de São Paulo. O restante é suprido por minerações do nordeste de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraíba e Rio Grande do Norte. A empresa Santa Suzana Mineração Ltda, é um dos principais produtores no Estado de São Paulo. Em 1980, a indústria vidreira de São Paulo consumiu cerca de 60.000 t de feldspato com relação de uso entre 2% e 17%.

3.2.5 – Aluviões

Os aluviões decorrem da ação geológica (de ordem mecânica) das águas de chuvas e rios que provocam a **destruição** (por erosão de encostas ou o desgastamento das rochas), o **transporte** (das partículas em suspensão e das substâncias ionizadas) e a **deposição** que pode ocorrer no próprio leito do rio (formando *ilhas* ou “*bancos de areia*” ou *sedimentos*), nos lagos (formando um “*delta lacustre*” inclinado para o fundo) e no mar (formando *deltas* e *barras*, devido à redução da velocidade das águas do rio pelo choque com as ondas marítimas e à influência química da água do oceano) (adaptado de Décourt, 1937).

Os sólidos resultantes da erosão fluvial, ou que afluem para um rio, são por este transportados, sendo que uma parte encontra-se em solução ou dissolvida, e a outra em suspensão. Os lagos desempenham um papel muito importante como reguladores dos cursos d’água e como bacia de decantação dos mesmos. Esse fenômeno natural tem sido aproveitado nas canalizações de água para abastecimento das cidades, em cujo percurso se abrem poços que funcionam como bacias de decantação e permitem purificar a água. A redução da velocidade da água explica a precipitação imediata dos materiais mais volumosos, como os grãos de areia. Por outro lado, graças à ação dos sais de cálcio que a água do mar contém dissolvida, ocorre a coagulação e precipitação dos materiais limosos, constituídos por argila, óxido de ferro, silicatos hidratados. Quando as condições acima não se manifestam, os materiais transportados constituem as barras, que na maré alta vançam pelo leito do rio acima e na maré baixa deslocam-se a favor da correnteza do rio. O volume das barras não cresce além de certo limite e o excesso de material transportado pelo rio pode ser levado para longe pelas correntes marítimas. Grande quantidade do material carreado pelo Rio Amazonas é lançado em pleno oceano, sendo apanhado pela corrente marítima oriunda da África e atravessa o Atlântico indo para as Antilhas, onde é depositado (Décourt, 1937).

3.2.6 - Arenitos

Nos arenitos, os fragmentos cimentados são geralmente de areia com pequenas dimensões. O cimento natural pode ser de sílica, calário, argiloso ou de óxido de ferro. Os grãozinhos de areia dos arenitos podem ser maiores ou menores e sua união pode ser mais ou menos íntima, existindo alguns que se desagregam com ligeiro esforço (são firáveis) ao passo que outros oferecem grande resistência (adaptado de Décourt, 1937).

De acordo com a natureza do cimento, existem as variedades de **arenitos silicosos ou quartzosos, arenitos argilosos, arenitos calcários e arenitos ferruginosos**. Os dois primeiros tipos ocorrem nas cores branca ou ligeiramente acinzentada. O cimento ferruginoso oferece ao arenito as cores vermelho-pardo ou amarelado. Existem, ainda, os **arenitos manganesíferos**, de cor negra. O **arenito micáceo** contém mica, e dependendo dos planos de xistosidade (devido à disposição particular das palhetas de mica) tem-se o **arenito xistoso**. Se a proporção de quartzo diminui e aumenta a de mica, forma-se uma rocha denominada **psamito**. Os arenitos silicosos possuem maior resistência (mecânica e química) do que os demais, e os calcários desagregam-se com efervescentia quando são colocados em ácido, o qual ataca o cimento. Em certos arenitos silicosos o cimento também se mostra mais ou menos cristalizado, formando o **arenito quartzítoso**, que é uma rocha metamórfica correspondente a uma transição entre o arenito silicoso e o quartzito (adaptado de Décourt, 1937)

3.3 – Fenômenos geológicos formadores de areias

A areia pode ser oriunda de alguns processos naturais básicos (Fig. 2), cujas atuações diferem bastante. Entre eles estão:



Figura 3.2 - Processos de formação de areia (NAVA, 1997, p.328, Fig. 2).

3.3.1 - Intemperismo

É um fenômeno subdividido em **desintegração** (processo basicamente físico que enfraquece a resistência da rocha pela desagregação de seus minerais constituintes, liberando-os) e **decomposição** (processo químico através do qual, alguns dos constituintes das rochas são alterados em outros minerais de granulação muito fina e os minerais estáveis remanescentes são liberados e podem ser concentrados). As areias relacionadas a esses dois processos são denominadas de **epiclásticas**.

3.3.2 - Vulcanismo Explosivo ou Piroclástico

Resulta da ação explosiva de vulcões, que pode produzir vasta gama de tamanho de partículas (vidros, fragmentos de cristais, partículas de lava, etc.).

3.3.3 - Moagem via movimentos das rochas (cataclástico) e por impacto

São eventos que podem provocar a moagem localizada de rochas e produzir partículas de dimensão de areia. A moagem decorrente da atividade glacial pode produzir material do tamanho areia em quantidade suficiente para formar corpos de dimensões consideráveis. A queda de meteoros fragmenta e mói as rochas na zona de impacto; apesar de que o material formado na cratera resultante normalmente é grosso;

3.3.4 - Peletização de material fino

Uma argila, por exemplo, provém da decomposição de rocha, sendo carreada para o interior de uma bacia de sedimentação. Esse material pode ser peletizado, inclusive pela ação de organismos, formando pequenos agregados de material sedimentar nas dimensões da areia.

3.3.5 - Precipitação química e bioquímica

Ocorre a partir de soluções originadas pela decomposição de rochas, cujos constituintes minerais se precipitam sob a forma de partículas ou oólitos; as areias assim formadas são chamadas endogenéticas, no caso de areias carbonáticas a denominação preferencial é calcário. (NAVA, 1997).

3.4 – As variedades mineralógicas das areias

As areias podem ser constituídas por quartzo puro, mas, frequentemente, ocorrem acompanhadas de mica (que se achava reunida na rocha original) e outros **constituintes como feldspatos, anfibólios, piroxênios**. É comum que as areias contenham óxidos de ferro que lhes emprestam a cor amarela, de cálcario, argila e glauconita que lhes coram de verde, etc. Quando a areia é constituída apenas por quartzo, tem a cor branca e recebe o nome de **areia quartzífera** (adaptado de Décourt, 1937).

Considerando-se a dimensão das partículas e a composição mineralógica que uma determinada areia possa apresentar, pode-se dizer que os processos básicos que atuam na sua formação são os mesmos que atuam na formação de qualquer material granular mineral com tamanhos entre 0,0625 e 2,0mm (NAVA, 1997)

Cada processo ou interação de processos produzirá uma areia de composição característica. Por exemplo, no caso das **areias quartzosas**, a ação de tais processos deve ter sido muito mais seletiva, e as áreas-fonte certamente mais ricas em quartzo. O transporte do quartzo liberado da área-fonte até o sítio de deposição da areia, não só foi eficiente para separá-lo dos outros minerais desagregados e/ou decompostos, como também competente, a ponto de classificar e transportar grandes quantidades de grãos de quartzo do tamanho areia. Sem dúvida, devido às nossas condições geológicas e climáticas, certamente o intemperismo foi o que mais atuou na formação de grãos de areia constituídos de quartzo, os quais se acumularam nos depósitos de areias quartzosas mais importantes (NAVA, 1997).

Portanto, **as areias quartzosas** são de origem secundária, pois derivam de rochas pré-existentes ricas em quartzo, sobre as quais atuaram os agentes intempéricos, desintegrando-os e decompondo seus minerais mais susceptíveis. Os diferentes minerais formadores dos diversos tipos de rochas comportam-se diferentemente ante os agentes intempéricos. O quartzo é um dos minerais de maior resistência e, portanto, de grande estabilidade nas condições existentes na superfície da terra, além de sua participação na composição de muitos tipos de rochas (NAVA, 1997).

A maioria dos demais minerais constituintes das rochas são menos resistentes ao intemperismo e, por isso mesmo, são pulverizados, alterados em outros minerais, principalmente argilosos, ou até mesmo dissolvidos. Nessas condições são facilmente removidos e levados para longe pelos meios de transporte disponíveis. Desse processo todo pode resultar um depósito residual de fragmentos, principalmente de quartzo, no qual o

tamanho e forma das partículas dependem da textura e estrutura da rocha fonte. Esse resíduo então formado, também pode ser transportado e as partículas, podem ser submetidas a fraturamento - e retrabalhamento por abrasão das pontas e arestas, resultando em diferentes graus de arredondamento e esfericidade, polimento ou fosqueamento ou picotamento das superfícies, bem como estas partículas podem ser classificadas. Esses efeitos estão diretamente ligados à energia e viscosidade do meio, no qual as partículas foram transportadas e à distância desse transporte e características do percurso.

Finalmente, as partículas são depositadas, formando os depósitos sedimentares que, de início, **são aluviões e depósitos eólicos, glaciais, litorâneos, marinhos**, etc. Assim formados, esses depósitos podem sofrer "diagênese", transformando-se em rochas como arenitos e quartzitos. Sobre esses depósitos e rochas todo o ciclo pode repetir-se e, havendo condições favoráveis, pode ocorrer a segregação de depósitos praticamente monominerálicos de alto grau de pureza. As areias desses depósitos (areias quartzosas), dependendo da aplicação, podem ser usadas *in natura* ou passar por processos de beneficiamento, produzindo-se, então, areias de grande utilização nas indústrias. (NAVA, 1997)

4. OBJETIVOS E ESCOPO DO PRESENTE PROJETO

O presente trabalho visou:

1º - Melhorar a qualidade da areia extraída da região de Seropédica-Itaguaí através de um sistema de beneficiamento e evitar seu consumo restrito ao setor da construção civil.

2º - Para concretizar essa meta, executar a caracterização tecnológica de amostras de areia quartzosa oriundas da região de Seropédica-Itaguaí.

3º - desenvolver um sistema de beneficiamento fundamentado na análise de dados laboratoriais, para que a areia possa ser destinada a mais de um uso industrial.

O trabalho envolveu as seguintes atividades teóricas e experimentais:

1ª Parte - Busca de bibliografia técnico-econômica, sobre:

- especificações tecnológicas das areias requeridas para as diversas aplicações industriais. Por exemplo: granulometria, formato do grão, composição, resistência mecânica e térmica, estabilidade química, etc;
- ensaios laboratoriais e as respectivas normas existentes para a determinar as principais características de areia;

2ª Parte – Trabalhos laboratoriais e de análise dos resultados experimentais:.

- foram executados vários ensaios para caracterizar e/ou comprovar algumas das possíveis aplicações da areia existente na região de Seropédica-Itaguaí.

3ª Parte – Seleção de aplicações industriais para as areias analisadas

- foram comparados os resultados laboratoriais e os parâmetros citados na bibliografia consultada, que permitiram selecionar (s) a(s) aplicação(ões) industrial(is) mais indicada(s) para as amostras de areia estudada.

4ª parte – Proposição de um processo de beneficiamento da areia e seus descartes

- foram propostas as etapas de um processo básico de beneficiamento após a comparação das operações unitárias usuais ou cabíveis com os procedimentos analíticos laboratoriais envolvendo reações químicas, tendo sido incluída uma linha de processamento pertinente aos equipamentos para tratamento dos efluentes possivelmente gerados.

5. PROPRIEDADES GENÉRICAS DE PARTÍCULAS E AGREGADOS

As areias constituem um dos principais materiais de construção civil e militar, sendo consideradas como a principal fonte de suprimento dos agregados finos que entram na composição de argamassas e concretos. Por essa razão, as propriedades mencionadas usualmente aplicadas para os agregados são incorporadas na caracterização tecnológica de areias industriais, e podem ser agrupadas em (MINEROPAR, 2005).

1^a - forma externa das partículas - pode ser classificada e referenciada através de duas propriedades envolvendo o seu caráter geométrico:

- **grau de arredondamento** - normalmente não é definido por números, mas por termos geométricos, a saber: anguloso, subanguloso, subarredondado e arredondado.

- **esfericidade da partícula** - é descrita como sendo o grau de aproximação de uma partícula à forma perfeitamente esférica, podendo as partículas ser classificadas: esferoidais ou equidimensionais, achatados ou em forma de disco, prismáticos ou em forma de bastão lamelares.

2^a - textura superficial do agregado - sua avaliação é feita pelo grau de polimento ou rugosidade da superfície da partícula, sendo função, principalmente, da dureza, do tamanho do grão e das características dos poros da rocha matriz. São conhecidas as texturas: lisa, granulada, rugosa, cristalina, esponjosa ou porosa.

3^a - propriedades mecânicas: rigidez, dureza (NBR 6465), resistência mecânica.

É difícil determinar no próprio agregado fino ou grosso a sua resistência ao esmagamento ou à compressão. Avaliam-se essas propriedades através de ensaios indiretos realizados num corpo-de-prova, como: resistência ao esmagamento de corpo-de-prova indeformado, utilização de agregados de comportamento comprovado na prática.

4^a - propriedades elásticas:

Envolve a determinação do **módulo de elasticidade de um agregado**, definido como a razão entre um aumento de tensão e o correspondente incremento de deformação. Sabe-se que os agregados de alto módulo de elasticidade conduzem a concretos de alta resistência à tração na flexão e baixa retração por secagem.

5^a - Propriedades de absorção dos agregados

A **porosidade** resultante numa determinada aplicação de um agregado fino ou grosso depende do seu tamanho de partícula, a quantidade e a continuidade dos poros, que constituem as suas características fundamentais, uma vez que afetam diretamente outras, como: **absorção, massa específica, resistência mecânica, resistência à abrasão, aderência pasta-agregado, e susceptibilidade ao ataque de agentes químicos**.

A **porosidade total** é expressa pela relação entre o volume de vazios dos poros e o volume total da massa de agregado. Para sua determinação, utilizam-se métodos baseados na medida das massas específicas dos agregados ou o emprego do porosímetro de WASHBURN & BUNTING.

A **absorção d'água** dos agregados é obtida a partir da diferença da massa de uma amostra de agregado no estado saturado e no estado seco, em relação à massa seca em estufa à 105°C a 110°C.

6^a - Propriedades térmicas

As que merecem destaque são: **dilatação térmica, calor específico, condutibilidade térmica**. As duas últimas se revestem da maior importância quando se trata de concreto, massa ou estruturas que exigem isolamento térmico.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 - Atividades realizadas

O trabalho envolveu as seguintes atividades teóricas e experimentais:

1^a Parte - Busca de bibliografia técnico-econômica, sobre os seguintes itens:

- especificações tecnológicas das areias requeridas para as diversas aplicações industriais. Por exemplo: granulometria, formato do grão, composição, resistência mecânica e térmica, estabilidade química, etc;
- procedimentos laboratoriais e suas respectivas normas para determinar as principais características das amostras disponíveis de areia.

2^a Parte – Trabalhos laboratoriais e de análise dos resultados experimentais:

- Foram executados diversos ensaios em laboratório para caracterizar e/ou comprovar algumas das possíveis aplicações da areia existente na região de Seropédica-Itaguaí.
 - Inicialmente, os testes realizados se basearam em características que já são largamente avaliadas;
 - Posteriormente, foram executadas outras análises compatíveis com as demandas mais exigentes de algumas indústrias, como, por exemplo, a composição química ou uma análise granulométrica para partículas muito finas.

3^a Parte – Seleção de aplicações industriais para as areias analisadas

- Foram comparados os resultados laboratoriais e os parâmetros citados na bibliografia consultada, que permitiram selecionar (s) a(s) aplicação(ões) industrial(is) mais indicada(s) para as amostras de areia estudada.

4^a parte – Proposição de um processo de beneficiamento da areia e seus descartes

- Tendo em vista as operações unitárias e os procedimentos analíticos laboratoriais envolvendo reações químicas, foram propostas as etapas de um processo básico de beneficiamento, tendo sido incluída uma linha de processamento pertinente aos equipamentos para tratamento dos efluentes possivelmente gerados;

6.2 - Caracterização das amostras coletadas de areia da região de Seropédica-Itaguaí

6.2.1 – Metodologia da amostragem

As variedades de amostras coletadas foram: areia branca e areia amarela. A coleta das amostras foi realizada atendendo às especificações da norma NBR 7216/1987: "Amostragem de Agregados", elaborada pelo "CB-18 - Cimentos, Concretos e Agregados", que é o Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

As amostras de areia branca e amarela úmidas foram coletadas em diversos pontos dos silos disponíveis (da parte superior e das bocas de descarga) e também em diversos pontos das pilhas de estocagem à céu aberto. Para isso, utilizou-se uma pá e sacos plásticos de polietileno resistentes e limpos, adequados para materiais pulverulentos. As amostras foram coletadas em dias diversos para retratar com realidade as diversas condições de operação que se apresentam.

6.2.2 - Determinação da massa específica real

A massa específica real (ou densidade) das amostras de areia amarela e branca, foi determinada seguindo a norma NBR 9776 - "Determinação da Massa Específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman". Empregou-se um Frasco de Chapman com volume graduado entre 375 - 450 cm³ e com uma geometria específica que permite a acomodação e compactação da areia no fundo do frasco, e adicionou-se água (líquido de densidade conhecida ≈ 1 g/cm³) até a marca de 200 cm³. Posteriormente, adicionou-se uma massa determinada de areia de 500g, seca em estufa à 105-110°C para eliminar a umidade nas amostras. Através de agitação eliminou-se as bolhas, propiciando assim a expulsão do ar presente entre os grãos da areia. Foi feita a leitura no frasco do nível "L" do conjunto água-areia e através da fórmula:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200}, \text{ sendo } \gamma: \text{massa específica do agregado miúdo (g/cm}^3\text{), e determinou-se a massa}$$

específica real das amostras. Foi adotado como critério de repetibilidade 2 determinações por amostra de agregado miúdo, que não deveria diferir em mais de 0,05 g/cm³ para validação dos resultados.

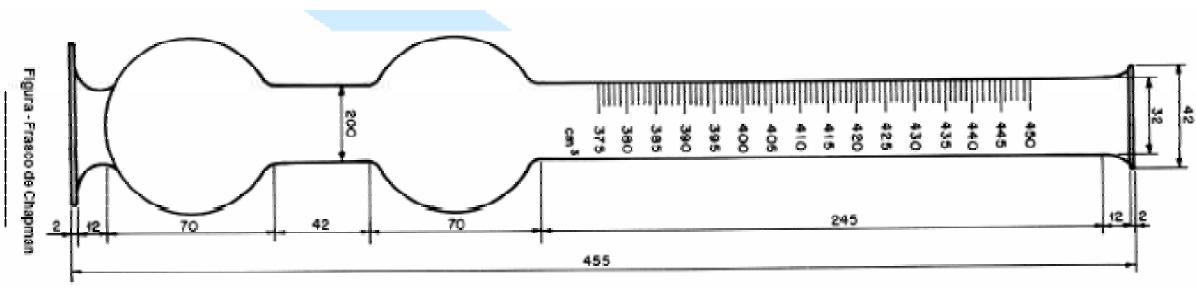


Figura 6.1 – Desenho Esquemático do Frasco de Chapman com dimensões em mm.

6.2.4 - Determinação do teor de matéria orgânica nos sedimentos arenosos

6.2.4.1 - Análises qualitativas ou semi-quantitativas nos agregados

Segundo PINHEIRO (1986), as impurezas orgânicas podem afetar concretos, dificultando as reações de hidratação do cimento e, assim, diminuir a sua resistência. As impurezas orgânicas, muitas vezes, não são visíveis a olho nu, embora, geralmente, gerem tonalidades mais escuras para as areias. No entanto, existem areias escuras provenientes de rochas de tonalidade mais acentuada, como por exemplo, o basalto, que podem não conter nenhuma matéria orgânica. As impurezas orgânicas também são prejudiciais para os produtos dos processos de fundição.

Para identificar a presença de matéria orgânica nas amostras de areia branca e amarela, foi utilizado o método descrito pela norma ABNT para Cimentos, Concretos e Agregados NBR 7220: "Agregados - Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo". Esta norma prescreve um método para a determinação colorimétrica de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo destinado ao preparo do concreto, sendo importante ressaltar que não determina substâncias orgânicas como óleos, graxas e parafinas.

A análise se baseia na comparação colorimétrica entre uma solução padrão de teor de matéria orgânica conhecido (300 ppm), constituída por uma mistura de soluções de ácido tânico e de NaOH, e uma solução contendo a matéria orgânica extraída de 200g de amostra de areia por uma solução de NaOH a 3%.

Segundo PINHEIRO (1986), conforme o teor de matéria orgânica existente na areia, a solução apresenta coloração que vai desde o amarelo claro até o marrom escuro. Quando a areia apresenta coloração idêntica à da solução padrão, dizemos que possui 300 ppm em termos de ácido tânico, e sendo assim no caso de coloração menos intensa a amostra terá menos de 300 ppm. No caso contrário, apresentará um valor superior.

6.2.4.2 - Análises quantitativas nos agregados

Para quantificar diretamente o teor de matéria orgânica presente nas amostras de areia realizou-se uma análise comparativa, adotando o Método da FEEMA, MF-436: "Métodos de determinação de resíduos Total, Fixos e Volátil (Método Gravimétrico)", que se baseia no conceituado manual intitulado "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (20ª Edição). Os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Engª de Meio Ambiente do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ, onde são normalmente utilizadas estas análises para as determinações similares em amostras de lodo.

A análise consistiu em determinar e comparar o valor percentual de perda mássica das amostras, através de secagem à 103°C e calcinação à 550°C. Utilizando-se cápsulas de porcelana pré-calcinadas para evitar erros por perda de massa aderida ou das cápsulas, foram pesadas 2 amostras de 30g de cada tipo de areia. Em seguida, as amostras foram submetidas as seguintes etapas subsequentes: secagem, resfriamento, pesagem, calcinação, resfriamento e nova pesagem. As condições para as etapas citadas estão descritas de forma sucinta na tabela abaixo.

Tabela 6.1 – Condições operacionais para determinar o teor de matéria orgânica

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO EXPERIMENTO:				
ETAPA	EQUIPAMENTO	ESPECIFICAÇÕES	CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO	TEMPO DE RESIDÊNCIA
Pesagem	balança	Fabr.: AE – Mod.:ESJ-205 – Máx: 205g – 4 casas decimais	-	-
Secagem	estufa	-	T = 103°C	t = 12 h
Resfriamento	dessecador	-	T = ambiente	t = 1 h
Calcinação	mufla	Fabr: Quimis - Modelo: Q 318M24	T = 550°C	t = 1 h



Figura 6.2 – Fotos do dessecador e do forno de mufla usados no experimento.

6.2.5 - Determinação da composição granulométrica de agregados

Segundo BERBERT (2003), a determinação da distribuição granulométrica do sedimento define, previamente, se a areia analisada poderá ser enquadrada às especificações requeridas pelas diversas indústrias que consomem areia. Em certos casos a concentração preferencial de determinado mineral de interesse (ex: feldspato), num intervalo granulométrico, indica que é possível seu aproveitamento ou que se deve descartar toda a massa.

Foram realizados 2 ensaios para analisar a composição granulométrica das amostras de areias amarela e branca. O primeiro foi realizado no Laboratório de Tecnologia Inorgânica/DPI/EQ/UFRJ atendendo às indicações da NBR 7217: "Agregados – Determinação

da Composição Granulométrica" da ABNT, a qual sugere a utilização da "série normal" de peneiras para agregados miúdos e graúdos para concreto. Essa série limita-se a analisar a composição granulométrica da areia num intervalo de tamanhos entre 4,8 mm (seixo pequeno) e 0,150 mm (areia média), sem abranger as frações de areia fina e muito fina, conforme estabelecido no sistema da "Classificação Granulométrica de Udden-Wentworth para sedimentos clásticos".

O segundo ensaio foi realizado no Laboratório de Tecnologia Mineral da COPPE e Escola Politécnica da UFRJ, e tentou-se reproduzir resultados comparativos aos resultados obtidos por BERBERT (2003), em cujo trabalho foi utilizada uma série de peneiras que compreendia a classificação de frações granulométricas desde os seixos pequenos (4,0 mm) até areia muito fina (0,062 mm), baseada na "Classificação Granulométrica de Udden-Wentworth para sedimentos clásticos". Essa série de peneiras permitiu analisar as frações granulométricas menores, que são aquelas normalmente aplicadas em diversas indústrias (vide Tabela 6.2).

Tabela 6.2 – Classificação Granulométrica de Udden-Wentworth para sedimentos clásticos correlacionada com as séries de peneiras utilizadas cada ensaio para avaliação da composição granulométrica das amostras.

Série Normal *			Classificação Udden-Wentworth para Sedimentos Clásticos		Série de Udden-Wentworth		
Escala ABNT/ASTM (nº)	Escala Tyler (mesh)	Abertura mm *	Sedimento	Tamanho	Abertura mm	Escala ABNT/ASTM (nº)	Escala Tyler (mesh)
4	7	4,76	Seixo	Pequeno	4,00	5	5
8	12	2,38	Seixo	Muito pequeno	2,00	10	9
16	24	1,18	Areia	Muito grossa	1,00	18	16
30	42	0,59	Areia	Grossa	0,50	35	32
50	80	0,30	Areia	Média	0,250	60	60
100	170	0,15	Areia	Fina	0,125	120	115
Fundo: Materiais Pulverulentos (<0,075 mm)			Areia	Muito fina	0,625	230	250
-			-	-	Fundo: Silte (<0,0625mm) e Argila (< 0,0039mm)		

* No caso da utilização da Classificação Granulométrica de Udden-Wentworth para sedimentos clásticos como padrão, a série normal apresenta uma defasagem em relação a outra série utilizada nos ensaios, quanto ao percentual que ficará retido nas peneiras; consequentemente, esse fato gerará um erro na composição que será determinada.

Seguindo a NBR 7217, foram utilizadas 500,0g (M_0) de areia para cada amostra, seca em estufa a 105-110°C. As peneiras foram previamente limpas e encaixadas com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, e com um fundo adequado para o conjunto. As amostras foram, então, dispostas sobre a peneira superior do conjunto de peneiras de modo a evitar a formação de camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras.



Figura 6.3 – Fotos da balança e do peneirador vibratório, usados nos ensaios da série normal de peneiras.

Utilizou-se um peneirador vibratório (fabricante EOH, modelo: Via test – tipo: VSM 200”), no qual o conjunto das peneiras com a amostra foi submetido a uma vibração intermitente durante 10 minutos, para separar e classificar previamente os diferentes tamanhos de grão da amostra. Após cada período de operação verificava-se cada peneira (para tentar minimizar o erro experimental) realizando-se uma agitação manual contínua de cada peneira (com uma tampa e fundo “falso” encaixados) até que a massa de material passante correspondesse, aproximadamente, a 1% da massa de material retido. O material passante na referida peneira foi, então, acrescentado ao topo da peneira seguinte. Removeu-se o material retido na peneira para uma bandeja identificada e escova-se a tela em ambos os lados para limpá-la. Para finalizar a análise, determinou-se a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. Para essa determinação, o somatório de todas as massas retidas não deve diferir mais de 0,3% da massa seca da amostra (M_0), inicialmente introduzida no conjunto de peneiras.

O procedimento experimental adotado para o segundo ensaio granulométrico, que utilizou a série de peneiras de Udden-Wentworth (4mm até 0,062mm), foi basicamente semelhante, porém incluiu alguns procedimentos diferentes, descritos a seguir:

1º - cada agitação mecânica foi operada durante 15 minutos, utilizando-se um peneirador “RO-TAP”, equipado com timer (fabricante: W.S.Tyler - modelo: RX-29), cuja amplitude de deslocamento na direção horizontal diferia do peneirador vibratório;
 2º - as massas secas da amostra (M_0), inicialmente introduzidas no conjunto de peneiras, foram 500g para o primeiro ensaio de cada amostra e 250g para o ensaio de repetição. Tal procedimento visou tentar a melhoria da eficiência de peneiramento, evitando a “saturação” da peneira (isto é, acúmulo de grãos sobre uma mesma região da peneira e obstrução da passagem dos grãos menores), já que o peneirador “RO-TAP” opera de modo diferente do peneirador vibratório e poderia gerar alguma distorção nos resultados. De fato, foi possível observar que esse critério é útil, como demonstram os resultados expostos adiante. Para todos os ensaios de classificação granulométrica, adotou-se como critério de repetibilidade e reprodutibilidade, a realização de 2 ensaios por tipo de amostra.



Figura 6.4 – Fotos do peneirador RO-TAP do Laboratório de Tecnologia Mineral.

6.2.6 - Determinação do inchamento da areia

Para o caso de agregado miúdo, o “inchamento” é o fenômeno da variação do volume aparente da areia seca, provocado pela absorção de água livre pelos grãos e que incide sobre a sua massa unitária (NBR 6467, 1987). A água absorvida pelos grãos do agregado é função da maior ou menor porosidade do material desses grãos. O agregado miúdo, quando constituído de grãos de alteração de rocha, que é um material muito friável, apresenta elevado grau de absorção de água. (BAUER, 1994). Essa determinação é muito utilizada para dosagem de concreto se não for feita por volume dos agregados. Nesses casos, dispondendo-se da curva de inchamento e conhecido o teor de umidade da areia seca ao ar (estado em que se encontra nos estoques das obras que não estejam expostos a chuva), o volume a ser considerado no traço pode ser calculado.

Os ensaios de inchamento das amostras coletadas foram realizados no LAMAC, segundo os procedimentos estabelecidos na norma NBR 6467, 1987/ABNT: “Agregados – Determinação do Inchamento de agregado miúdo”. Ensaiou-se uma determinação de inchamento para cada tipo de areia. Foram utilizadas por volta de 8,0 kg de areia seca em estufa (105 - 110°C).

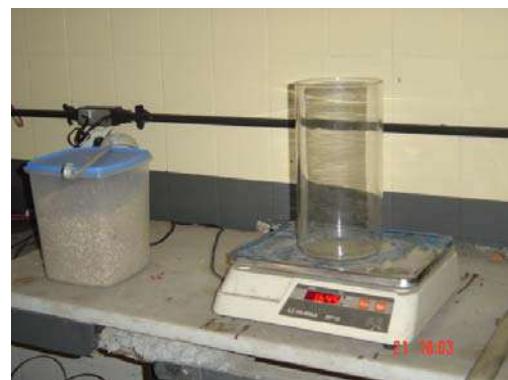


Figura 6.5 – Fotos dos instrumentos e equipamentos utilizados nos ensaios, destacando o Aparelho de Umidade – Pressão tipo “Speedy”, ao centro.

O procedimento experimental executado incluiu as seguintes etapas:

1^a - Aferição do volume do recipiente utilizado – foi feita enchendo-o com um líquido de densidade conhecida (no caso a água). Depois de cheio, colocou-se uma placa de vidro sobre o recipiente para observar e corrigir a formação de bolhas. Pesou-se o recipiente contendo água, para determinar o volume do recipiente.

2^a - Umidecimento da amostra de areia contida numa fórmula (ou encerado de lona) – adicionou-se o respectivo percentual de água calculado para que fosse atingido o teor de umidade definido pela norma, seguido da homogeneização da amostra. Colocou-se a amostra no recipiente, para evitar qualquer tipo de compactação, e “rasou-se” o recipiente para garantir que só existiria massa no volume determinado. Depois pesou-se para determinar a massa unitária do agregado em estado solto (ou massa específica aparente).

Os teores de umidades (em massa) estimados e definidos pela norma citada, para os quais a umidade real e a massa específica aparente devem ser medidos, são 0%, 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 9% e 12%. Vale ressaltar que, o cálculo do valor estimado para do volume de água a ser adicionada à amostra em cada situação exigida, levou em conta a massa específica da água como sendo igual a 1g/cm³.

$$m_{água} = \frac{h\% \cdot m_s}{100\%} \cdot 1000 \quad ; \quad V_{água}(mL) = \frac{m_{água}}{\rho_{água}}$$

sendo:

m_s : massa de areia seca em estado solto, a qual preenche todo o recipiente (kg)

$h\%$: umidade percentual indicada pela norma

$\rho_{água}$: massa específica da água (1 g/cm³)

$m_{água}$: massa de água a ser adicionada (g)

$V_{água}$: volume de água a ser adicionado (cm³ ou mL).

Diferentemente do sugerido na norma, foi utilizado para uma determinação rápida e de boa precisão da umidade real, um “kit” composto por vaso de pressão com manômetro na tampa, uma “balança de peixeiro” denominada de “Aparelho Umidade – Pressão tipo Speedy” (fabricante: Pavitest – modelo I-1003), ampolas de carbureto de cálcio e 2 esferas de aço.

Promoveu-se a reação exotérmica dentro do vaso de pressão entre a umidade presente na areia e o carbureto de cálcio, que resultou num aumento na pressão. Consultando-se os dados de uma tabela apropriada, obteve-se o teor percentual de umidade. Dessa forma, em cada homogeneização, sempre se coletava uma amostra de 20 g, para a realização do teste de umidade real através do equipamento citado acima. Para cada teor de umidade, calculou-se o coeficiente de inchamento de acordo com a expressão:

$$\frac{Vh}{V_0} = CI = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \frac{(100 + h)}{100}$$

γ_s : massa unitária do agregado seco em estufa (kg/dm^3)

γ_h : massa unitária do agregado com $h\%$ de umidade (kg/dm^3)

CI ou Vh/V_0 : Coeficiente de Inchamento

6.2.7 – Determinação da massa específica aparente

O quociente entre a massa do agregado lançado no recipiente utilizado no ensaio para determinação do inchamento e o volume desse recipiente define a massa específica aparente, segundo a norma da ABNT NBR 7251: “Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária”. O ensaio é realizado em paralelo com o ensaio de inchamento por utilizar os mesmos equipamentos e amostras e para fornecer dados importantes para a determinação do coeficiente de inchamento.



Figura 6.6 – Foto do recipiente completamente cheio e “rasado”, sendo pesado.

6.2.8 – Análise química por Espectrometria de Fluorescência de Raio-X

6.2.8.1 - Preparo da amostra para a análise química por FRX

Foram coletadas duas amostras da areia “natural” (sem ter sofrido nenhum tipo de beneficiamento) para esta análise contendo todas as frações granulométricas originais (seixo, areia, silte, argila), sendo uma amostra de areia branca e outra da areia amarela. Depois de coletadas, as amostras foram previamente secas em estufa a $105 - 110^\circ\text{C}$. O preparo da amostra para a análise química através de fluorescência de raio-X foi realizada segundo as especificações da norma da ABNT NBR 9644 “Preparação de amostras para análise química de materiais refratários”.

As amostras de areia previamente secas (para facilitar a moagem) foram moídas num moinho de bolas por aproximadamente 8 horas, até atingir a granulometria de um “talco”, passante em # 200 mesh (ou $\leq 0,075 \text{ mm}$). Vale ressaltar que esta característica deve ser verificada visual ou tatalmente, pois não se deve peneirar a amostra para evitar qualquer tipo de perdas e uma consequente distorção na composição química real da amostra.



Figura 6.7 – Fotos das etapas de moagem.

6.2.8.2 – Execução da Análise por FRX

O procedimento experimental realizado baseou-se na Norma da ABNT NBR 14656/2001: "Cimento Portland e matérias-primas – Análise química por espectrometria de raios-X", e foi constituído principalmente pelas seguintes etapas:

1^a - Secagem das amostras em estufa a 110°C;

2^a - Pesagem das amostras (0,5g de areia moída) e do fundente (7 g de Tetraborato de Lítio), numa balança de analítica de 4 casas decimais (fabricante: C.A.E.L. – modelo: Satorius – máx.: 200g);



Figura 6.8 – Fotos da amostra moída e ao lado o cadinho de platina/ouro.

3^a - Realizou-se uma queima prévia das amostras a 930°C, num Forno Mufla (fabricante: Quimis – modelo: Q-318 D24), visando eliminar sua umidade residual e a matéria volátil (principalmente CO₂ e enxofre);

4^a - A mistura foi posta num cadinho de Platina/ouro, e realizou-se a fusão da mesma, por 17 minutos, utilizando uma Máquina de fusão (fabricante: Claisse – modelo: Fluxy);

5^a - Ao término desse período, deixou-se o líquido fundido resfriar/solidificar e ocorrer a formação de uma pastilha fundida. Após a solidificação total, a pastilha apresentou uma cor esverdeada, revelando que a amostra indicava a presença de átomos de cromo e/ou ferro.



Figura 6.9 – Fotos seqüenciais da formação das pastilhas fundidas: fusão, resfriamento e solidificação.

6^a - Depois de prontas, as pastilhas foram individualmente analisadas num espetrômetro de fluorescência de raio-X (fabricante: Phillips – modelo: PW 2400);



Figura 6.10 – Fotos do Espectrômetro de Fluorescência de raio-X (à esquerda: vista frontal, e ao centro: vista superior – compartimento para a pastilha aberto). À direita, foto das pastilhas fundidas apóas a análise no FRX.

6.2.8.3 - Condições analíticas semi-quantitativas

A composição química do material foi obtida através de análise semi-quantitativa efetuada no Laboratório de Fluorescência e Difração de raios X do Depto. de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, através de Espectrômetro de Fluorescência de raios X Philips PW2400, com tubo de Rh. O “software” utilizado para as análises semi-quantitativas foi o aplicativo “Squant14”, desenvolvido pela Philips e que acompanha o equipamento. As curvas de calibração foram obtidas a partir da leitura de pastilhas de padrões de elementos, especificamente obtidas para a utilização no programa Squant14.

A perda ao fogo foi determinada através da obtenção do peso da amostra, antes e depois da mesma ser levada à queima a 950°C por meia hora num forno laboratorial. Os elementos foram detectados a partir da fusão de 1,0 g de pó do material misturados com 7g de fundente tetraborato de lítio. As condições analíticas para a dosagem dos elementos presentes nas amostras foram: detectores selado e de fluxo, cristais analisadores PET, Ge, PX1, PX3 e LIF200 e potência do tubo 24 Kv e 90 mA ou 50 Kv e 50 mA, dependendo do elemento químico detectado. Os erros analíticos aceitáveis foram: para os elementos maiores ($> 0,1\%$ em peso); não é superior a 1% e para os elementos traços ($< 0,1\%$ em peso) não ultrapassa 10%.

7 – ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os gráficos e as respectivas variáveis dimensionais e adimensionais incluídas no relatório dos resultados seguem os procedimentos adotados por instituições e autores consagrados.

7.1 - Massa Específica Real

Tabela 7.1 – Resultados obtidos na determinação da massa específica real.

Resultados de Determinação da Massa Específica Real		
Areia	Nível medido(L)	densidade real (g/cm³)
Branca	391	2,6178
Branca	391	2,6178
Amarela	390	2,6316
Amarela	390	2,6316

Os resultados obtidos nos ensaios de determinação da massa específica real das amostras de areia foram, respectivamente, 2,6178 g/cm³ para a areia branca e 2,6316g/cm³ para areia amarela. Estes resultados representam a massa específica real das amostras de areia “natural”, com todas as frações granulométricas originais (seixos, areia, silte e argila).



Figura 7.1 – Fotos das etapas inicial (à esquerda) e final das análises para determinação da massa específica real das amostras de areia branca (ao centro) e amarela (à direita).

7.2 - Teor de Matéria Orgânica por Colorimetria

Na comparação colorimétrica entre as soluções analisadas e a solução padrão, foi possível identificar a provável presença de matéria orgânica nas amostras, pois as soluções analisadas apresentaram colorações próximas a um amarelo pouco intenso. Isto indicou que o teor de matéria orgânica das amostras está abaixo de 300ppm em termos de ácido tânico. Foi possível constatar, também, a presença provável de matéria orgânica um pouco mais acentuada na areia amarela. Isto se deve, provavelmente, a uma característica argilosa da areia amarela em relação à areia branca.



Figura 7.2 – Resultados do ensaio de determinação colorimétrica do teor de matéria orgânica:
o balão da esquerda contém uma solução com matéria orgânica extraída da areia amarela;
o frasco à direita contém outra solução com extrato orgânico, obtido da areia branca;
o do centro mostra a cor da solução padrão.

Nos ensaios de quantificação do teor de matéria orgânica das amostras pelo Método adotado pela FEEMA (MF-436) foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 7.2 – Teores de matéria orgânica presentes nas amostras de areia coletadas na região de Seropédica-Itaguaí, RJ

Cápsula	Areia	P1 (g)	P2 (g)	P3 (g)	Umidade relativa (%)	% Matéria Orgânica	% Médio de Matéria Orgânica
517	Amarela	30,0000	28,6837	28,1463	4,39%	1,87%	
163	Amarela	30,0000	28,6366	28,5184	4,55%	0,41%	0,67
162	Amarela	-	30,0062 *	29,8725	-	0,45%	
167	Branca	30,0000	28,6719	28,5852	4,43%	0,30%	
182	Branca	30,0000	28,4943	28,4006	5,02%	0,33%	0,34
201	Branca	-	30,0054 *	29,8906	-	0,38%	

* Estas amostras foram secas em estufa à 110°C, diferentemente das outras que conforme citado anteriormente foram secas em estufa à 103°C

LEGENDA DA TABELA 7.2

P1	Massa da amostra original
P2	Massa da amostra seca
P3	Massa da amostra calcinada
Densidade da Areia Amarela (g/cm³)	2,6316
Densidade da Areia Branca (g/cm³)	2,6178

Esses resultados comprovaram as evidências citadas na análise colorimétrica, pois, realmente, as duas amostras apresentavam impurezas orgânicas, e a areia amarela continha um teor de matéria orgânica maior que a areia branca.

7.3 – Determinação da Composição Granulométrica

Os intervalos granulométricos citados nos parágrafos seguintes estão adaptados à classificação Udden-Wentworth para sedimentos clásticos.

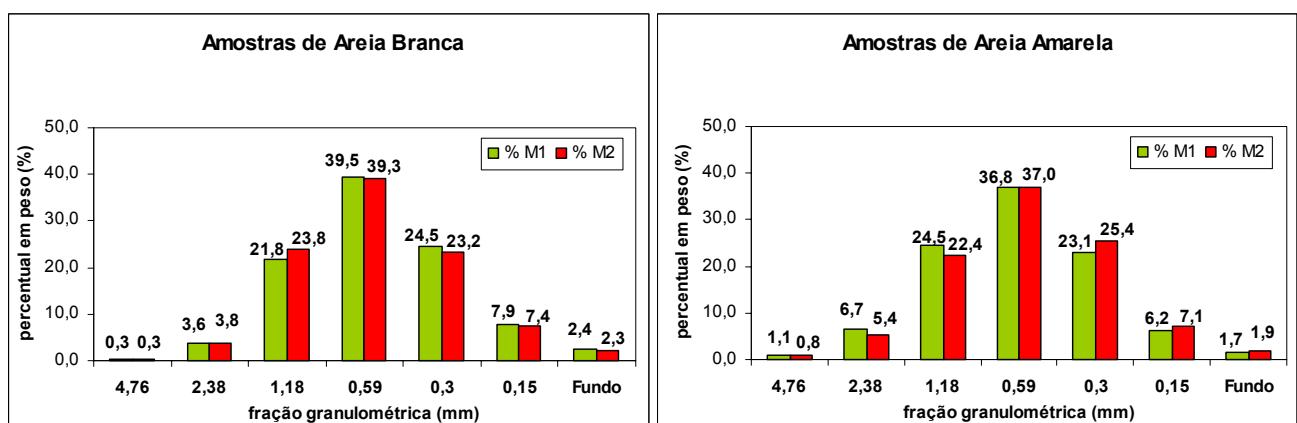


Figura 7.3 – Histogramas obtidos nos ensaios para determinação granulométrica utilizando a série normal de peneiras para agregados miúdos e graúdos para concreto.

Pode-se verificar pelos histogramas apresentados na Figura 7.3 que as amostras de areia analisadas apresentam um predomínio das frações de areia grossa (-1,18mm +0,59 mm), porém com um teor percentual de areia muito grossa (-2,38mm +1,18mm) e areia média (-0,59mm +0,3mm).

A areia branca também apresentou-se composta por frações granulométricas menores que as da areia amarela, e apresentou um maior teor percentual em peso do que a areia amarela nas classificações de areia grossa (-1,18mm +0,59 mm), areia média (-0,59mm +0,3mm), areia fina (-0,3 mm +0,15mm) e materiais pulverulentos (-0,15mm). A areia amarela apresentou a tendência inversa, revelando um teor percentual em peso maior do que

a areia branca nas seguintes classificações: seixo pequeno (+4,76mm), seixo muito pequeno (-4,76mm +2,38mm) e areia muito grossa (-2,38mm +1,18mm).



Figura 7.4 – Frações Granulométricas das areias branca e amarela, separadas nos ensaios para determinação granulométrica utilizando a série normal de peneiras, dispostos em ordem decrescente de tamanho de grão da esquerda para direita.



Figura 7.5 – Visão aproximada das frações granulométricas da areia branca e amarela, separadas nos ensaios para determinação granulométrica utilizando a série normal de peneiras.



Figura 7.6 – Frações granulométricas das areias branca e amarela, dispostas numa proveta na ordem crescente de tamanho de grão de baixo para cima

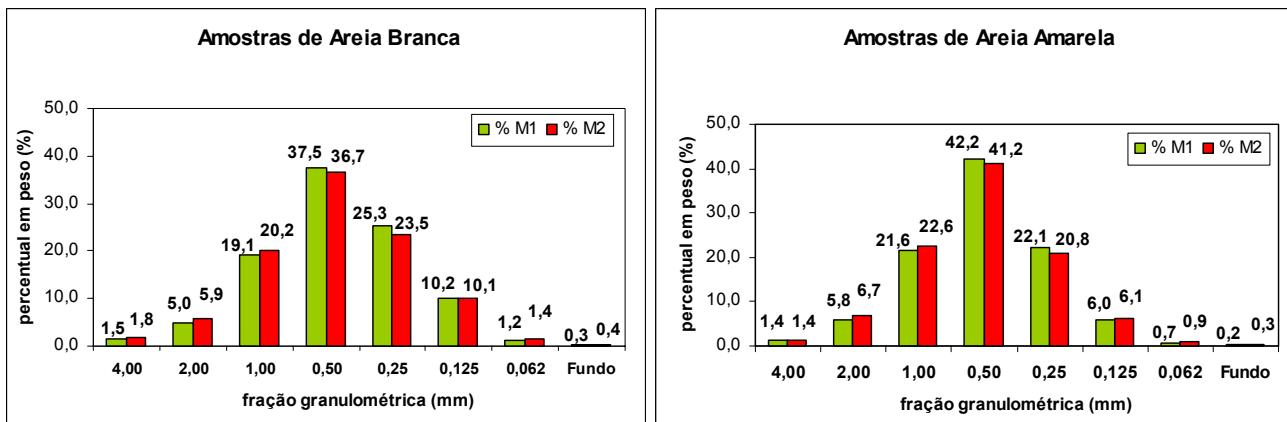


Figura 7.7 – Histogramas obtidos nos ensaios para determinação granulométrica utilizando uma série de peneiras baseada na classificação granulométrica de Udden-Wentworth para sedimentos clásticos.

Os ensaios que utilizaram a série de peneiras baseada na Classificação Granulométrica de Udden-Wentworth possibilitaram classificar com maior exatidão as amostras quanto às suas frações de menor granulometria. Foi possível também confirmar as tendências **dos perfis de distribuição granulométrica** das areias amarela e branca observadas nos resultados com a série normal de peneiras.

Os intervalos granulométricos equivalentes às classificações de seixo pequeno (+4,00mm) e de seixo muito pequeno (-4,00mm +2,00mm) revelaram um aumento no teor percentual mássico devido à correção no intervalo granulométrico abrangido ao reduzir-se a malha das peneiras, ou seja, retendo uma fração percentual mássica que pela série normal de peneiras seria da classificação inferior subsequente.

A areia branca apresentou uma composição de areia média (-0,50mm +0,25mm), areia fina (-0,25mm +0,125mm) e areia muito fina (-0,125mm +0,062) maior que a areia amarela. Já a areia amarela apresentou uma composição de seixo muito pequeno (-4,00mm +2,00mm), areia muito grossa (-2,00mm +1,00mm) e areia grossa (-1,00mm +0,50mm) maior que a areia branca.

As frações granulométricas descritas como materiais pulverulentos na série normal, após a análise baseada na Classificação Granulométrica de Udden-Wentworth foram mais detalhadamente classificadas, tendo sido separada a areia muito fina das inferiores, as quais incluem silte e argila. Ambas as amostras apresentaram teor percentual mássico de silte e argila inferiores a 0,4%.

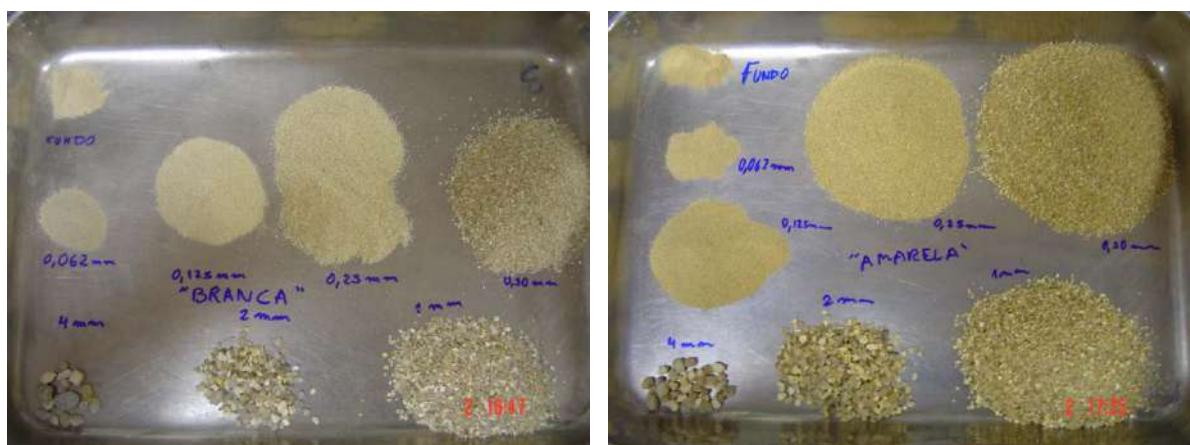


Figura 7.8 – Frações granulométricas das areias branca e amarela, separadas nos ensaios para determinação granulométrica utilizando a série de peneiras baseada na classificação granulométrica de Udden-Wentworth para sedimentos clásticos.

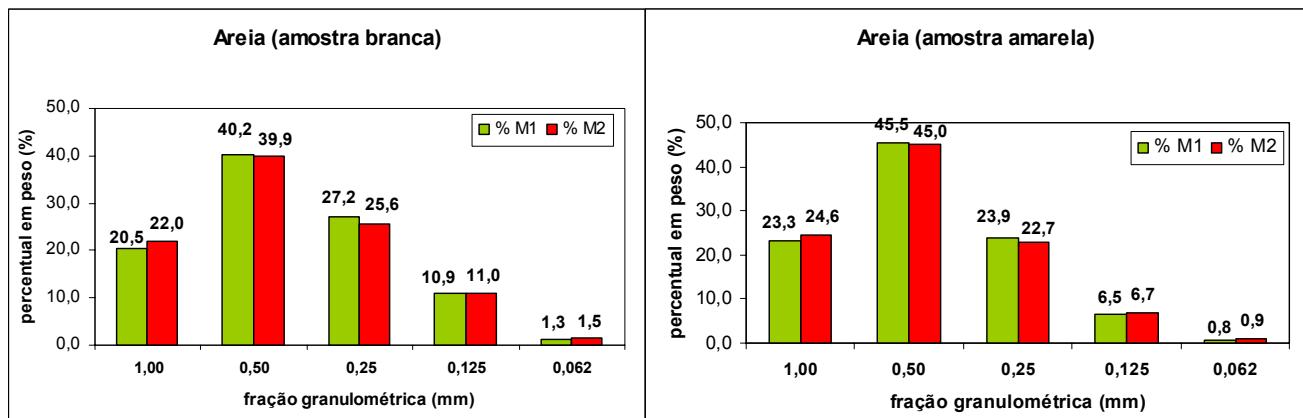


Figura 7.9 – Histogramas de distribuição granulométrica para as frações classificadas como “areia”, englobando as variações muito grossa (-2mm +1mm), grossa (-1 mm +0,5mm), média (-0,5 mm +0,25mm), fina (-0,25mm +0,125mm) e muito fina (-0,125mm +0,062mm).

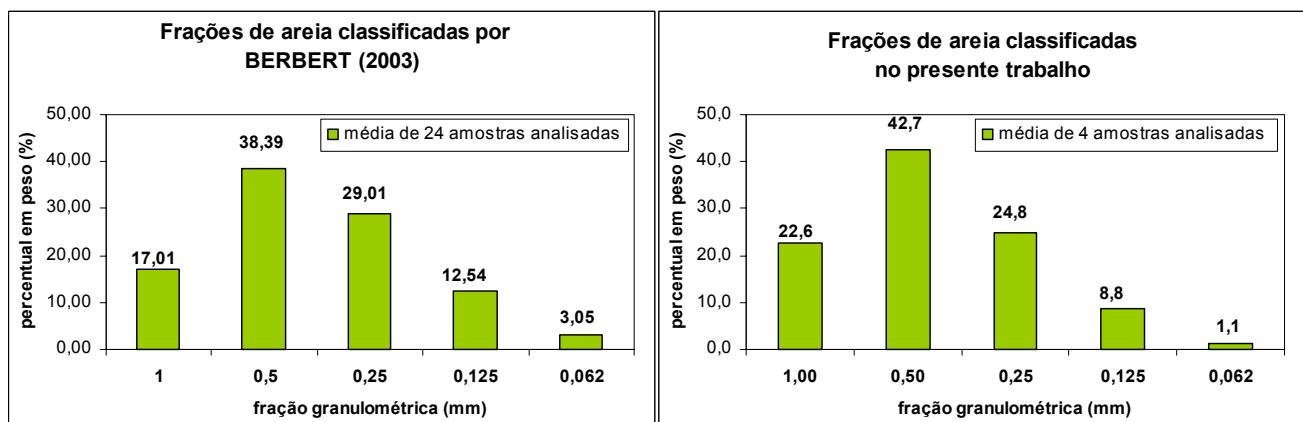


Figura 7.10 – Histogramas da distribuição granulométrica média para as frações classificadas como “areia”, englobando as variações muito grossa (-2mm +1mm), grossa (-1 mm +0,5mm), média (-0,5 mm +0,25mm), fina (-0,25mm +0,125mm) e muito fina (-0,125mm +0,062mm), mostrando à esquerda,

resultados obtidos por BERBERT (2003) em 24 amostras compatíveis com os os valores médios dos resultados obtidos no presente trabalho para 4 amostras (à direita).

7.4 - Determinação do Inchamento da Areia e da Massa específica Aparente

São apresentadas a seguir os gráficos referentes aos ensaios de inchamento, efetuados para as amostras de areia branca e areia amarela.

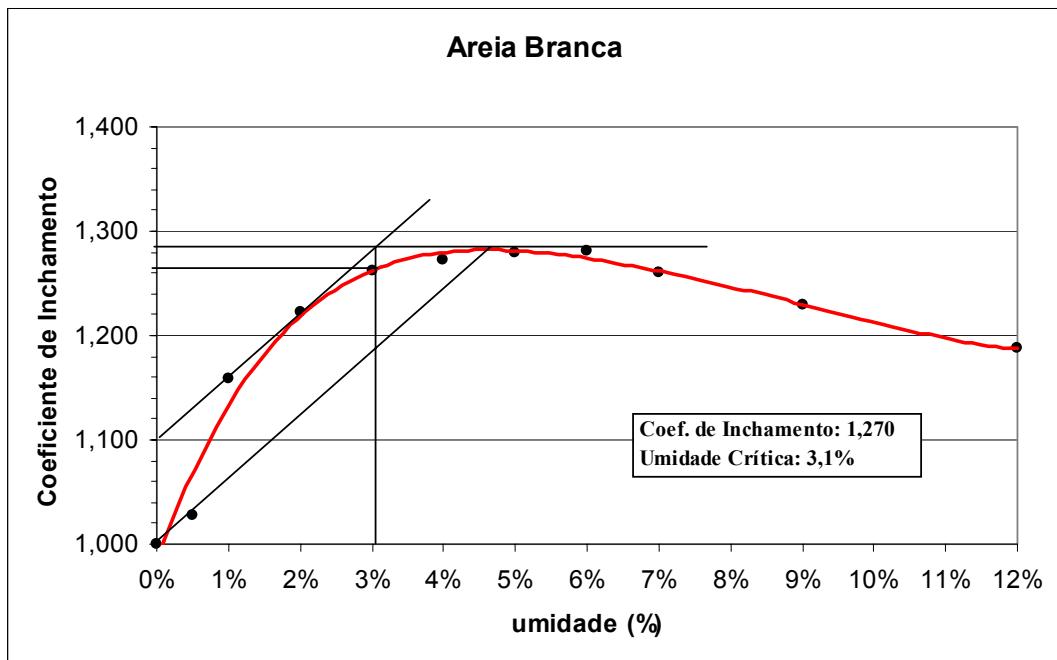


Figura 7.11 – Curva de inchamento da areia branca empregada para a determinação do seu coeficiente de inchamento e da respectiva umidade crítica.

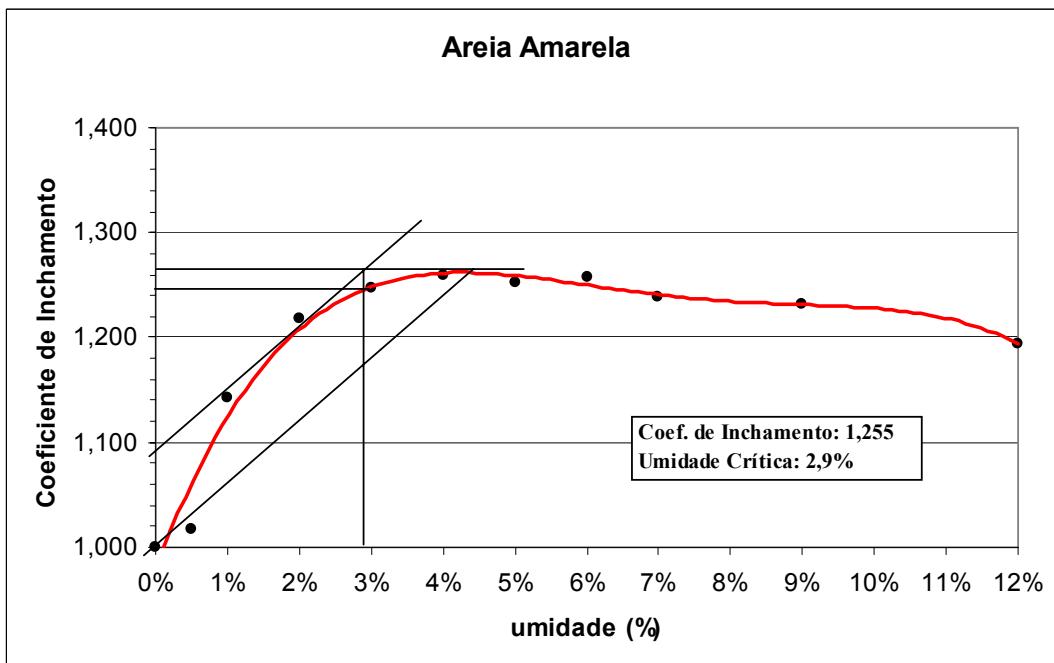


Figura 7.12 – Gráfico da curva de inchamento para a areia amarela para determinação do coeficiente de inchamento e da umidade crítica.

A comparação dos resultados obtidos nas respectivas curvas de inchamento, mostraram que a umidade crítica da areia amarela é menor que a da areia branca, indicando que esta possa ser mais argilosa, porque a argila possui a propriedade de "impermeabilizar" parcialmente a areia, dificultando a penetração da água nos interstícios dos grãos da areia.

Considerando como referência o crescimento do teor de umidade a partir do valor nulo, o aumento do coeficiente de inchamento apresenta-se, inicialmente, muito elevado, e se anula para um determinado teor de umidade dependente da natureza e da granulometria da areia.

Se o teor de umidade aumenta a partir deste ponto, então, o coeficiente de inchamento diminui até alcançar um valor limite, quando a areia não mais absorverá água, denotando o caso da areia saturada (máximo valor de CI), que corresponde ao ponto de inchamento máximo. A “umidade crítica” é definida como o teor de umidade a partir do qual o crescimento do coeficiente de inchamento é muito pequeno (BAUER, 1994).

O gráfico da Figura 7.13 seguinte revela que as curvas do coeficiente de inchamento e de densidade relativa (que é diretamente proporcional à da massa específica aparente da areia) possuem comportamentos inversos em relação a umidade, ou seja, enquanto uma curva está decrescendo a outra crescendo, ou vice-versa. O gráfico foi elaborado para atender à compatibilidade que os eixos cartesianos devem manter, pois se o eixo das abscissas referir-se à uma variável dimensional, o eixo das ordenadas deverá expressar os valores de outra variável dimensional. Se um dos eixos referir-se a uma variável adimensional, o outro deverá ser também adimensional.

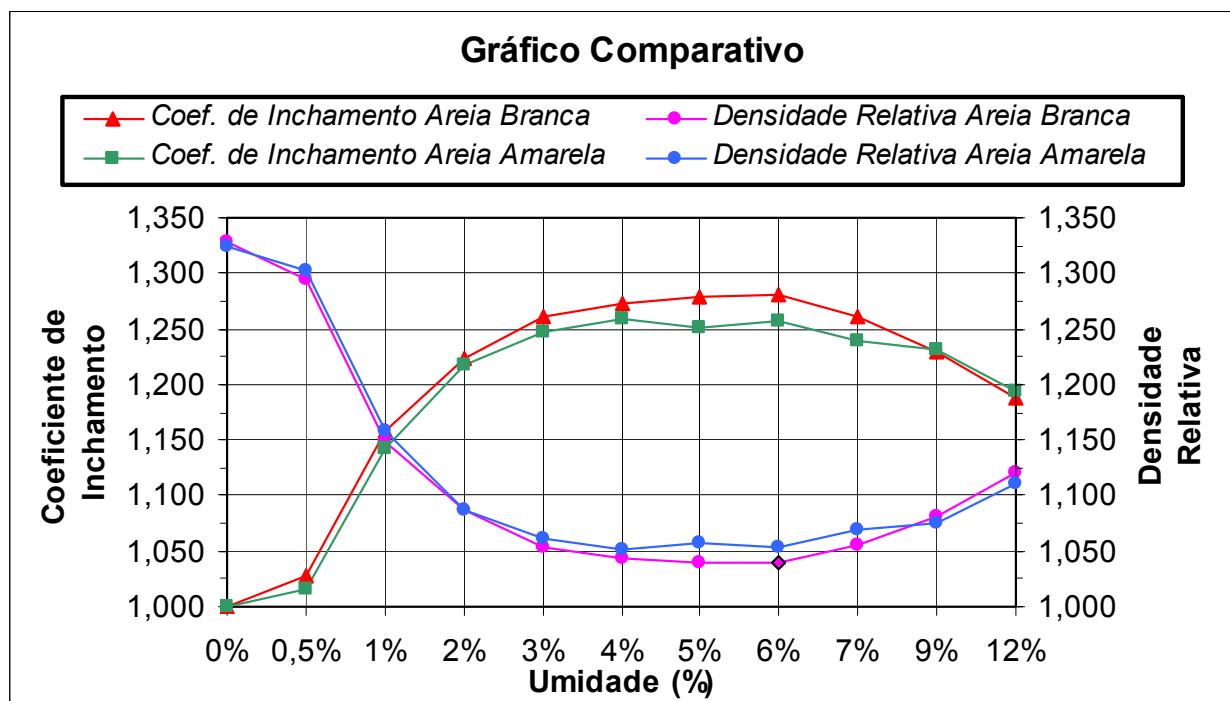


Figura 7.13 – Comparaçāo da influēncia da umidade na densidade relativa e no coeficiente de inchamento das amostras de areia.

As curvas de densidade relativa (vinculadas à massa específica aparente) para as areias branca e amarela, expostas na Figura 7.13 apresentaram basicamente o mesmo aspecto, diferindo em relação aos seus pontos mínimos, os quais ocorrem em 6% de umidade para a areia branca e 4% de umidade no caso da areia amarela. As curvas mencionadas apresentam quedas acentuadas em relação à elevação do teor de umidade até 3% de umidade, que corresponde aproximadamente ao ponto de umidade crítica, conforme verificado, anteriormente, na determinação do inchamento da areia. Neste ponto, ocorre uma desaceleração na queda, a qual prossegue até os respectivos pontos de mínimos de cada amostra. A partir dos pontos de mínimo, a situação se inverte e inicia-se um crescimento lento da densidade relativa (isto é, da massa específica aparente).

O comportamento revelado pelas curvas de interação entre a umidade e a densidade pode ser explicado pelo fato de que até ser atingida a umidade crítica, a água é absorvida pelos interstícios dos grãos de areia provocando um inchamento nos grãos. Sendo constante o volume do recipiente, um número menor dos grãos de areia poderá estar contido no recipiente. Como a densidade da água é muito menor que a densidade (real) da areia, a massa total contida no recipiente passa a ser menor, e consequentemente tem-se uma densidade aparente menor.

Superado o nível da umidade crítica - em que os interstícios dos grãos de areia já estão praticamente saturados por umidade - a água passa então a atuar como uma película que

recobre os grãos de areia, provocando o afastamento dos grãos e o preenchimento dos espaços vazios existente entre os mesmos antes ocupado pelo ar atmosférico. Ocorrerá, também, um processo de acomodação das partículas entre si, que resultará no adensamento ou compactação espontânea da amostra.

Esse comportamento atípico da areia pode ser relevante para etapas do processo industrial como a estocagem e o transporte, que muitas vezes são medidos por volume e não por peso. Ou seja, provocará uma despesa, por exemplo, para transportar "água" já que uma areia com percentual de umidade até a umidade crítica poderá apresentar o mesmo volume no caminhão de areia seca, mas estará na verdade com um grande percentual de água e não areia. E ainda, poderá demandar uma área de estocagem maior do que aquela realmente necessária.

Assim sendo, esse comportamento pode ser danoso, por exemplo, para a indústria de fundição, na qual se exige um teor percentual máximo de umidade de 0,1%. Nesse segmento industrial, em que os moldes são feitos por areia, ao se adicionar o metal fundido, o calor fornecido pelo mesmo pode provocar a evaporação desta água intersticial e consequentemente a formação de

A propriedade da areia de permitir que a água penetre em seus interstícios cria uma dificuldade também para retirar esta umidade, a qual só é retirada sob o fornecimento de calor. Essa propriedade pode ser danosa para a indústria de fundição, na qual se exige um teor máximo de umidade de 0,1%. Nesse caso industrial, os moldes são preparados com uma mistura de areia e ligantes inorgânicos, e ao se adicionar o metal fundido, o calor contido no mesmo pode provocar a evaporação da sua água intersticial, cujo vapor irá expandir-se e, consequentemente, poderá romper o material formador da parede. Essa expansão rápida poderá modificar a geometria original da peça resfriada, a qual poderá apresentar falhas e fissuras no artefato de metal comprometendo sua resistência mecânica.

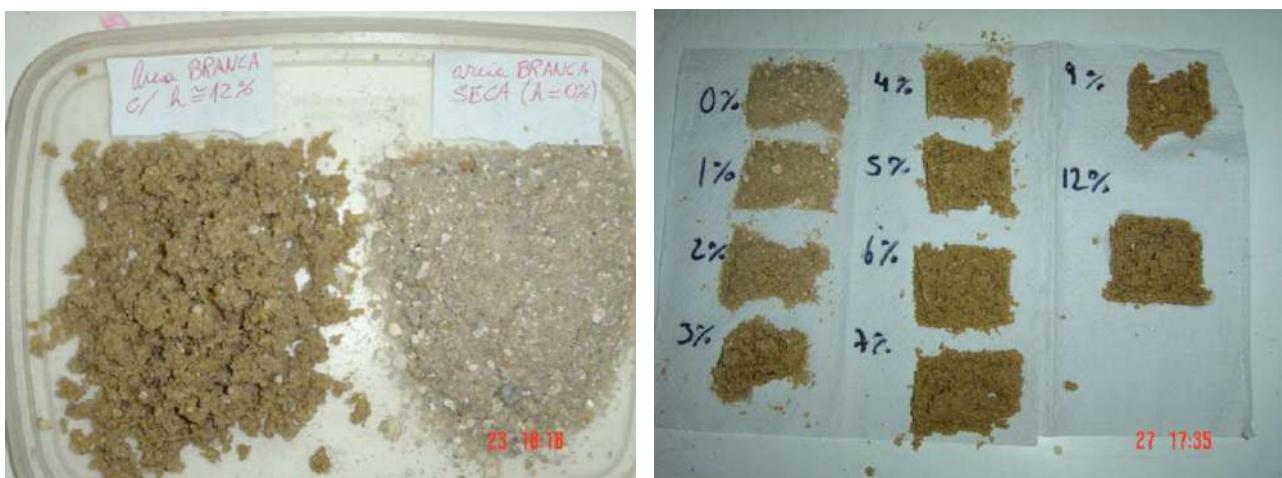


Figura 7.14 – À direita: foto comparativa de amostras de areia branca com teores de 0% e 12% de umidade. À esquerda: foto de amostras da areia amarela em cada teor de umidade analisado.



Figura 7.15 – Foto comparativa de amostras de areia amarela dispostas numa fôrma, no início (0% de umidade), à esquerda, e no final da análise (12% de umidade), à direita.

7.5 – Análise da Composição Química por FRX

Tabela 7.3 – Tabela dos resultados das análises da composição das amostras de areia coletadas em Seropédica-Itaguá, RJ obtidos por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

COMPOSIÇÃO QUÍMICA		
AREIA	BRANCA	AMARELA
SiO₂	91,00%	91,35%
Al₂O₃	4,29%	4,00%
Fe₂O₃	2,19%	2,27%
K₂O	2,08%	2,08%
TiO₂	0,25%	-
Cr₂O₃	0,12%	0,17%
NiO	0,08%	0,12%
CaO	-	-
SO₃	-	-
Na₂O	-	-
Traços	Na, P, Ca, Sc, Mn, Cu, Zn, Sr, Zr, Rh, Ba	Na, P, Ca, Ti, Mn, Cu, Zn, Sr, Zr, Rh, La
Perda ao Fogo	0,04	0,2

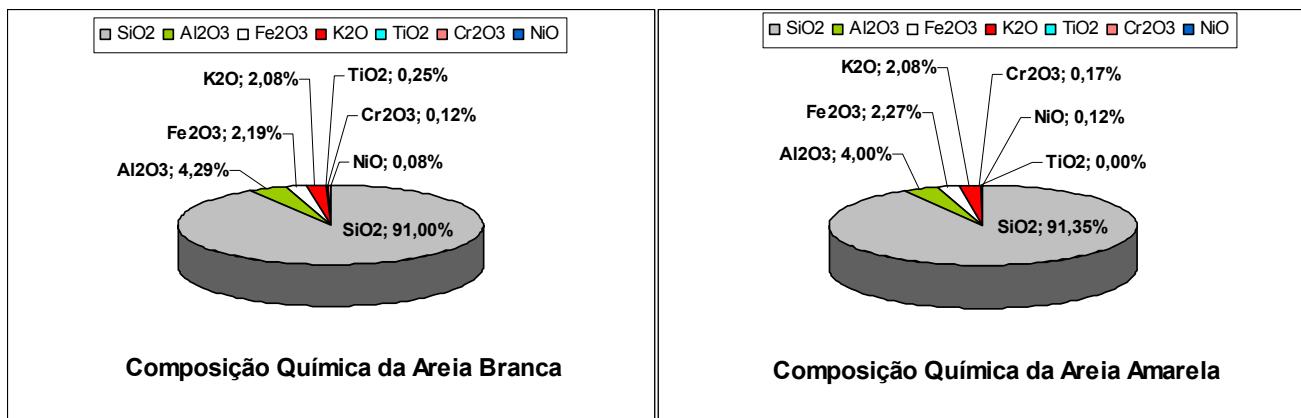


Figura 16 – Gráficos em formato pizza representativos das composições químicas das amostras de areia coletadas em Seropédica-Itaguaí, RJ, determinada nas análises por Fluorescência de Raios X.

As areias coletadas na região de Seropédica-Itaguaí, RJ, apresentaram altas concentrações de sílica (SiO₂), com teores percentuais praticamente iguais nas areias amarela e branca. Segundo BERBERT (2003), as amostras de profundidades maiores tendem a apresentar teores de sílica mais elevados. A areia branca apresentou maior teor de alumina (Al₂O₃), o que segundo NAVA (1997), provavelmente é oriundo da presença de minerais argilosos e micáceos, o qual, geralmente, aumenta com a profundidade da prospecção.

O teor de Fe₂O₃ se apresentou no intervalo de 2,19% e 2,27%, sendo maior na areia amarela. A presença de Fe₂O₃ na areia branca depende exclusivamente do teor de minerais pesados contidos na amostra. Já na areia amarela, o teor médio de Fe₂O₃ é mais alto e está relacionado à presença de limonita, que se apresenta envolvendo os grãos de quartzo, e que também é responsável pela cor desse material arenoso (NAVA, 1997).

De acordo com resultados de BERBERT (2003), os minerais pesados são representados principalmente por ilmenita, limonita, monazita e granada; e acompanhados por biotita, zirconita e magnetita, e menos frequentemente por turmalina, anfibólio e piroxênio, considerados como traços. Segundo NAVA (1997), a composição mineralógica das areias nos seus diversos níveis de coloração, é exclusivamente quartzosa, com acompanhados ocasionalmente da presença de minerais micáceos e de minerais pesados, destacando-se dentre estes, a ilmenita. As frações leves podem ser constituídas por quartzo, feldspato, micas e/ou fragmentos de rocha, sendo que de acordo com resultados obtidos em análises mineralógicas de seu trabalho, o teor percentual médio para o quartzo seria de 82,09%, feldspato 14,22%, micas e/ou fragmentos de rocha 2,04% e finalmente, pesados 1,65%.

Constatou-se ausência dos teores de TiO₂ na areia amarela e ocorrência de, aproximadamente, 0,25% na areia branca, o que confirma a tendência sugerida por outros autores. O maior teor médio de TiO₂, segundo NAVA (1997), ocorre na areia branca, causado pela maior freqüência de minerais pesados nas proporções superficiais, obviamente de implícita conotação deposicional. Nos níveis estratigráficos mais profundos observam-se reduções nos teores médios de TiO₂ e aumentos nos de Fe₂O₃ devido à adição da limonita, além da contribuição de minerais argilosos. O valor da Perda ao Fogo (P.F.) depende do teor de matéria orgânica ou dos voláteis contidos nos interstícios cristalinos na amostra em questão. Sabe-se que os materiais argilosos podem contribuir para o aumento da perda ao fogo de uma areia (NAVA, 1997). A característica argilosa da areia amarela contribuiu para que esta apresentasse resultados maiores que os da areia branca nos ensaios de perda ao fogo. Sabe-se que os teores dos óxidos de K, Na e Mg aumentam com a profundidade das suas ocorrências geológicas na mesma proporção em que ocorre o aumento dos teores respectivos de argilas, matéria orgânica e minerais micáceos (NAVA, 1997). Dos óxidos citados acima, o único que foi encontrado nas análises realizadas foi o K₂O com um teor médio de 2,08%. Por outro lado, de acordo com NAVA (1997), os óxidos de Mn tendem a concentrar-se com valores semelhantes em todos os níveis de coloração, o mesmo acontecendo com o CaO à exceção desses dois óxidos e do TiO₂ ligado a presença de ocasionais concentrações de ilmenitas.

8. PROPOSIÇÃO DE UM SISTEMA DE BENEFICIAMENTO DA AREIA

Segundo CHAVES (1971), as areias ou o quartzito moído de alta pureza, utilizados como matéria-prima na indústria vidreira e cerâmica, são, geralmente, adquiridos por fábricas que possuem especificações próprias. Essas indústrias, normalmente, realizam a inspeção de qualidade no recebimento de matérias-primas empregando procedimentos e ensaios práticos, nos quais podem ser comparados os resultados obtidos com aqueles apresentados por substâncias e materiais bem conhecidos. Elas comparam as especificações dos lotes de materiais contidos na documentação comercial, referentes a produtos previamente beneficiados e, portanto, de custo maior. Ou seja, para o transporte em grandes distâncias, uma areia beneficiada pode tornar-se rentável.

Em geral, as diversas mineradoras de areia são de médio e pequeno porte e existem receios de que qualquer proposta de desenvolvimento tecnológico inclua investimentos de grande vulto, tanto a nível de aumento da complexidade dos equipamentos individuais quanto das rotas de processamento e do investimento financeiro. Mas esse desafio pode ser vantajoso se forem identificadas demandas compatíveis com os investimentos. Essa premissa foi a inspiradora do presente trabalho, que não contemplou estudos de viabilidade econômica e concentrou-se nas questões tecnológicas e das rotas e processos inerentes.

8.1 – Conciliação entre os dados experimentais com as especificações industriais

Um minério geralmente possui a(s) fase(s) mineral(is) que interessa(m) extrair e liberar das impurezas associadas. A separação das impurezas ocorre por um processo de fragmentação de blocos e pedras até o tamanho de partículas ou grãos bem finos por meio de britagem, moagem ou pulverização do minério para encontrar a(s) fase(s) mineral(is) visada(s). Após a fragmentação do minério, seguem-se operações de classificação granulométrica pelo tamanho ou concentração da(s) fase(s) associando tamanho e outra propriedade física (densidade, magnetismo, atração eletrostática) ou físico-química referente em muitos casos a processos de flotação. Uma areia no estado bruto encontra-se naturalmente particulada em tamanhos diminutos, possui impurezas diversas, e não necessita, geralmente, de processos adicionais de fragmentação.

Geralmente, por conterem diferentes (impurezas) minerais em sua composição, é provável que a composição química de uma areia bruta seja variável para cada fração granulométrica. A análise química, realizada no presente trabalho, englobou todas as frações granulométricas existentes nas amostras de areia bruta coletadas (ou seja, frações de 6,3 mm até aquelas inferiores a 0,062mm).

A adoção de um processo de separação granulométrica visa separar as fases minerais desejáveis e indesejáveis. Assim, possibilita destacar algumas frações granulométricas, cuja composição química, seria igual ou próxima daquelas especificações referentes a certas aplicações industriais. Isso tornaria necessário executar análises de determinação de composição química em cada intervalo granulométrico das areias.

Devido a limitações encontradas nos trabalhos experimentais, para que a conciliação dos resultados com as especificações industriais fosse possível, decidiu-se adotar os dados de outros pesquisadores ou autores. Esse procedimento possibilitou complementar, os fundamentos que envolveram cada decisão na definição de escolha de algum segmento industrial e para a proposição da rota tecnológica de beneficiamento da areia.

Para as areias analisadas no presente trabalho, após o devido beneficiamento, foram identificadas as possíveis aplicações industriais, relacionadas abaixo:

8.1.1 - Vídraria e cerâmica:

Justificativas:

- 1^a - a presença de alto teor de sílica identificado nas amostras,
- 2^a - o provável alto teor de feldspato (segundo VALENTE, 2000),
- 3^a - a composição granulométrica com um alto percentual de grãos no intervalo entre -0,6mm +0,1mm,
- 4^a - a presença de impurezas como traços de CaO e ácalis (abaixo de 0,01%).

Restrições: referem-se ao teor de Al_2O_3 e Fe_2O_3 , que dependeriam de análises químicas adicionais. Em caso de ocorrência de teores inaceitáveis, pode ser necessário efetuar uma lavagem especial (beneficiamento químico específico) adicional. Estudos de caracterização tecnológica descritos por VALENTE et al (2000, p.66), mostraram que a areia da região de Seropédica-Itaguaí possui quantidade significativa de feldspato, o que a torna atraente para indústrias de vidro e cerâmicas. De fato, esses estudos indicaram ser tecnicamente viável a produção seja de areia industrial ou de feldspato, através do beneficiamento com o uso de separadores magnéticos de alta intensidade e o processo de flotação.

8.1.2 - Indústrias Metalúrgicas e Siderúrgicas

Justificativas: a fabricação do Fósforo elementar apresenta-se atraente devido ao alto teor de sílica exigido e a granulometria exigida no intervalo entre -1,87mm +1,19mm, em que as amostras coletadas e analisadas revelaram um teor adequado.

Restrições: referem-se ao teor de Al_2O_3 , o Fe_2O_3 e o TiO_2 .

8.1.3 - Refratários Ácidos:

Justificativas: consumo como "areia de soleira", devido a baixa exigência qualitativa, granulometria (< 2,27mm sem restrição quanto aos finos).

8.1.4 – Artefatos de argamassas com cimento Portland:

Justificativas: O teor de feldspato exigido deve ser menor que 15% em nº de grãos, e, segundo VALENTE (2000), o teor máximo de feldspato encontrado nas amostras de areia da região de Seropédica-Itaguaí foi de 11,41% em peso total de amostra no intervalo granulométrico entre 4 mm e 1mm. A composição granulométrica identificada nas amostras atende aos teores percentuais exigidos para os respectivos intervalos granulométricos (areia grossa, média grossa, média fina e fina). O teor de materiais pulverulentos nas amostras está pouco acima de 1%, podendo ser facilmente adequado com o beneficiamento. O teor de matéria orgânica é adequado.

Restrição: a única seria o teor de mica no intervalo granulométrico -0,3mm +0,15mm, que não foi analisado no presente trabalho, porém, segundo os resultados obtidos por VALENTE (2000), as análises mineralógicas por difratometria de raio-x indicam a possível presença de mica nas amostras de areias da região.

8.1.5 - Agente ou meio filtrante

Justificativa: deve-se à composição granulométrica identificada nas amostras, a qual pode atender perfeitamente as exigências.

Restrições:

- 1^a - Cada camada de diferentes granulações deve ser rigidamente bitolada, ou seja, incorporar um controle da separação granulométrica bastante eficiente.
- 2^a - O grau de esfericidade no caso de areia filtrante - não analisado no presente trabalho.

3^a - Os teores de Al_2O_3 e Fe_2O_3 , que dependem de análises químicas complementares.

4^a - O pH das águas tratadas - segundo CHAVES (1971), se o pH das águas tratadas é superior a 8, a solubilidade ácida do cascalho NÃO terá muita importância. Entretanto, se as águas são agressivas (pH < 8), ela não poderá exceder 10% para diâmetros superiores a 9,5mm e 5% para tamanhos menores.

Segundo resultados obtidos por VALENTE (2000) para a região de Seropédica-Itaguaí, o pH das lagoas variou entre 5,2 e 7,25. Sendo assim, para que tenhamos um melhor aproveitamento do cascalho (sub-produto) seria necessário ou uma correção do pH da água de lavagem ou uma redução do teor de umidade do cascalho através de uma rápida secagem durante o beneficiamento do material.

8.2 – Seleção do produto segundo o segmento industrial mais promissor

Diante dos resultados experimentais de caracterização tecnológica das areias estudadas e das especificações de matéria-prima exigidas pelos segmentos industriais citados, foi possível admitir que o melhor uso industrial seria o de “Refratários Ácidos” como “areia de soleira (*fire sand*)”. O beneficiamento da areia necessário para essa aplicação seria simples, devido à elevada alta qualidade revelada pelas amostras e as exigências requeridas para a aplicação citada são pouco restritivas.

8.3 – Sistema de beneficiamento adotado

Foram admitidas as seguintes etapas de beneficiamento necessárias:

1^a - Extração da areia (draga de succção) e outros bombeamentos.

2^a - Classificação por peneira fixa.

3^a - Lavagem e classificação por peneiramentos vibratórios (grelhas ou peneirador) ou em peneiras rotativas.

As justificativas para estas etapas são:

A etapa de extração da areia de uma cava submersa é realizada por uma draga de succção (Ortigão, 1996). Esse equipamento, geralmente, consiste numa plataforma (tablado) instalada sobre 4 filas de flutuadores cilíndricos de 6 a 10 metros de comprimento, coberta por telhado de 2,5 metros de altura, abaixo o qual é instalado o conjunto motor-bomba. O motor é de acionamento à diesel, normalmente com potência entre 180 a 245hp. A bomba de succção é de 6 polegadas de diâmetro, mesma medida dos tubos que trazem o minério. A ponta do tubo, usada para retirar a areia no fundo da cava apresenta forma chanfrada, cortada através de solda de acetileno geralmente no próprio areal. Esta ponta é reforçada através de chapas adicionais e possui uma pequena barra em sua extremidade que, além de reforçá-la, impede a entrada de fragmentos maiores, tais como pedaços de madeira.

A primeira classificação da areia pode ser feita por uma peneira fixa de tela 4,8mm, protegida por uma tela de maior diâmetro (25,4mm), para que a eficiência da tela mais fina não seja afetada pelo fluxo intenso da polpa (água + areia) extraída pela draga, além de retirar as impurezas grosseiras como as bolas de argila (denominadas de “Tabatinga”), matações, galhos e às vezes, grama resultante do decapamento para aumento da lagoa.

Na etapa terceira etapa, poderiam ser utilizadas peneiras vibratórias ou rotativas de malhas 2,27mm. Segundo LUZ et al (2004), as peneiras rotativas (trommels) possuem como principais vantagens sua simplicidade de construção e de operação, seu baixo custo de aquisição e durabilidade. Ainda são muito utilizadas para lavagem e classificação de areias e cascalhos, mas vêm sendo substituídas parcialmente por peneiradores vibratórios.

8.3.1 – Diagrama de blocos proposto

A Figura 8.1 apresenta um conjunto de opções globais de processamento e possibilita inspirar diversas sugestões de rotas tecnológicas encontradas na literatura técnica consultada.

O diagrama de blocos simplificado revela a existência de três linhas de fluxo e produtos principais:

- 1^a - para areia de soleira,
- 2^a - para seixos para filtros, e
- 3^a - seixos para pré-filtros.

São produzidas duas correntes de rejeitos:

- A - uma mais grosseira, de bolas de argila ("Tabatinga"),
- B - outra de finos que são carreados pela água retirada.

Geralmente, a alternativa adotada para a disposição dos rejeitos da lavra (VALENTE et al., 2000), é a utilização de antigas lagoas já existentes na área (ou na região), porque reduz o tamanho das lagoas (profundidade) remanescentes da lavra. Essa alternativa apresenta-se como a única economicamente viável para um empreendimento deste tipo. Também permite solucionar simultaneamente as duas questões que se apresentam para o início da atividade de lavra e beneficiamento do minério, que são:

1^a - qual destino oferecer às lagoas já existentes (VALENTE et al, 2000, p. 35)

2^a - qual seria o destino para o rejeito da separação granulométrica (finos e pelotas de argila) (VALENTE et al, 2000). No presente projeto, os finos não serão rejeitos, mas as pelotas de argila sim, o que não invalida a questão exposta.

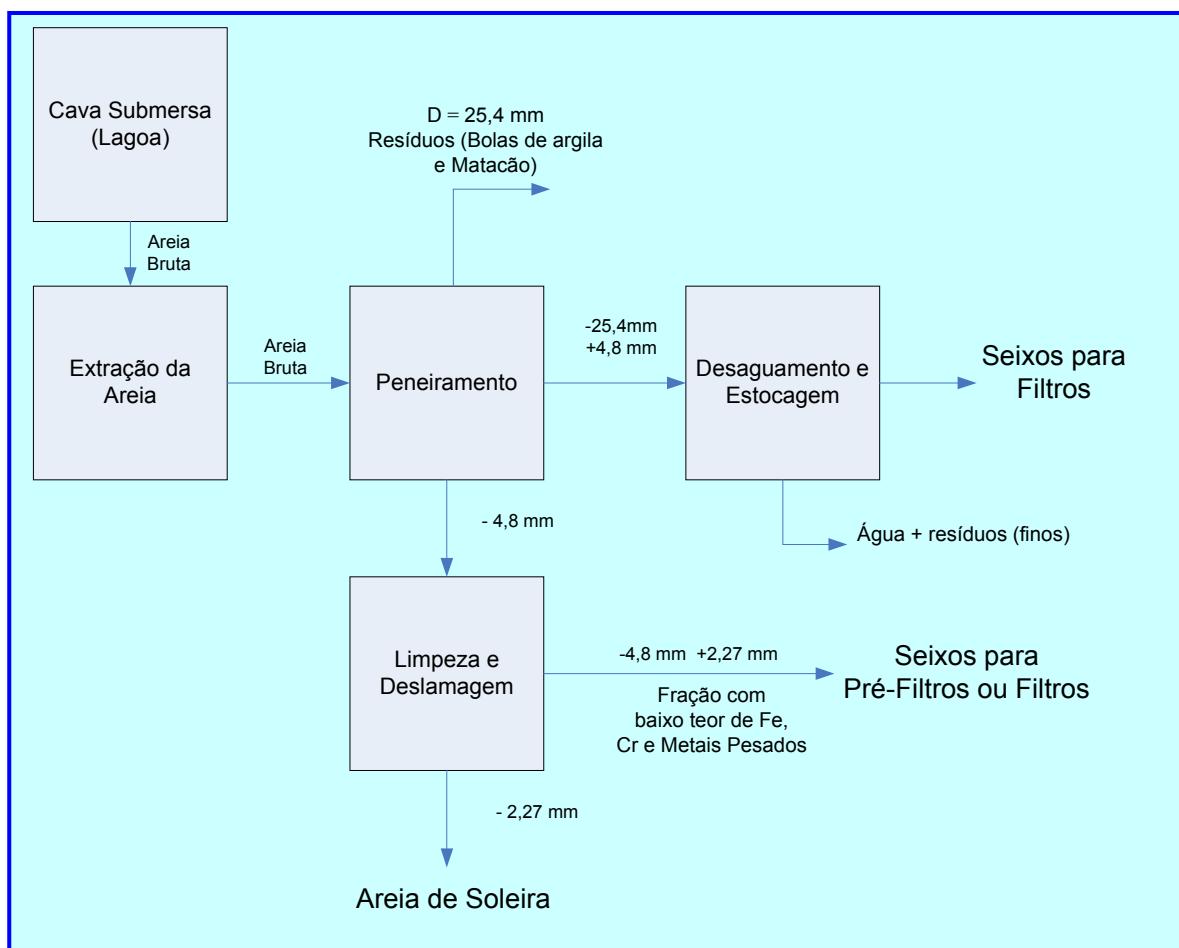


Figura 8.1 – Diagrama de blocos simplificado, proposto para o beneficiamento da areia.

9. Conclusões:

O presente Projeto Final do Curso de Engenharia Química englobou todas as etapas tecnológicas fundamentais para tornar possível a proposição de um SISTEMA DE BENEFICIAMENTO DE AREIA PARA FINS INDUSTRIAIS.

Os trabalhos foram baseados em busca bibliográfica, coleta de amostras em mineradoras da região de Seropédica-Itaguaí, RJ, e trabalhos laboratoriais envolvendo ensaios de desempenho e análises químicas.

O sistema proposto engloba as etapas de extração em cava submersa (numa lagoa), peneiramento com separação de resíduos de argila e matação, desaguamento e estocagem de seixos para filtros, limpeza e deslamagem para obtenção de areia de soleira e, ainda, seixos para pré-filtros ou filtros.

As amostras coletadas podem ainda ser submetidas a novos fracionamentos e separações granulométricas, sendo sucedidas por análises adicionais em laboratório para estudos complementares, visando delinear etapas de beneficiamento para aplicações mais avançadas.

Frederico Carvalho de Almeida Rego.

Referências Bibliográficas

- AGP - **Glossário de termos geológicos** - Associação dos Geólogos de Pernambuco – 2005 – Disponível em <www.agp.org.br/glossarioe-html> , acesso em 08 out 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 7216: Amostragem de agregados**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 9441: Redução da amostra para ensaios**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 9776: Agregados – Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por meio do frasco Chapman**: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 7220: Agregados – Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo: Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 7217: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 6467: Agregados – Determinação do Inchamento de agregado miúdo**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 7251: Agregados em estado solto – determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 9644: Preparação de amostras para análise química de materiais refratários**. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 14656: Cimento Portland e matérias-primas – Análise química por espectrometria de raios-X – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 12672: Areia-padrão para ensaios em fundição**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 7214: Areia Normal para ensaios de cimento – especificação**. Rio de Janeiro, 1982.
- FEEMA. **MF-436: Métodos de determinação de resíduos Total, Fixos e Volátil (Método Gravimétrico)**. Rio de Janeiro: 1983.
- ORTIGÃO, J.E.R. **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA): Projeto Extração de areia em cavas Itaguaí/Seropédica**. Rio de Janeiro: Ambiental – engenharia e consultoria Itda, 1996.
- BAUER, L.A.F.; **Materiais de Construção, Vol. 1**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1994. 5ª edição. 435 p. p.78 -101
- BERBERT, M.C.; **A mineração de areia no Distrito Areeiro de Itaguaí-Seropédica/RJ: Geologia dos depósitos e caracterização das atividades de lavra e dos impactos ambientais**. Rio de Janeiro: IG/UFRJ, 2003. 132 p. Dissertação (Mestrado).
- CHAVES, A.P.; **Usos Industriais de Areias e Cascalhos**. Revista Minérios e Metais. São Paulo: Centro Moraes Rego, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), v.1, nº 2, p. 42-48, 1971.

CHAVES, A.P.; CHIEREGATI, A. C.; **Estado da Arte em Tecnologia Mineral no Brasil.** CTMineral: Secretaria Técnica do fundo Setorial Mineral / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE): Ciência, Tecnologia e Inovação, 2002. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/nis/mineral.php>>. Acesso em: 24 ago. 2005.

CHAVES, A.P.; e colaboradores; **Teoria e prática do tratamento de minérios.** São Paulo: Signus Editora, 1996. V.1 e 2. 424 p. p.

CHAVES, A.P.; PERES, A.E.C.; **Teoria e prática do tratamento de minérios: britagem, peneiramento e moagem.** São Paulo: Signus Editora, 1999. V.3. 238p.

DÉCOURT, P. - **Elementos de Mineralogia e de Geologia**, 2ª Edição - Comp. Melhoramentos de São Paulo (Weiszflog Irmãos Incorporada), São Paulo, 1937.

HERMANN, H.; **Política de aproveitamento de areia no Estado de São Paulo: dos conflitos existentes às compatibilizações possíveis.** Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992. 186 p. p.20 – 22 (Série Estudos e Documentos; 18).

HOUAISS, A.; VILLAR, M.S.; FRANCO, F.M.M. – **Dicionário eletrônico Houaiss da língua portuguesa** – Instituto Antônio Houaiss, Editora Objetiva, – Dezembro de 2001.

JATCLAS - **Tabelas para filtros de areia e seixos.** Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.jatclas.com.br/tabela_areia>. Acesso em: 07 out.

JUNIOR, J.T.A. **Ato de Concentração nº.: 08012.001639/2002-55 (Versão Pública)/Parecer nº 45/2004 COPCO/COGPI/SEAE/MF.** Rio de Janeiro, MINISTÉRIO DA FAZENDA (MF). SECRETARIA DE ACOMPANHAMENTO ECONÔMICO (SEAE), 2004. Disponível:<http://www.fazenda.gov.br/seae/documentos/pareceres/Ind.%20Processo/pcr_Sibelco_JunduSantiagoAS.pdf>. Acesso em: 26 ago.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J.A.; ALMEIDA, S.L.M.; **Tratamento de Minérios.** Rio de Janeiro: CETEM-MCT, 2004. 4ª Edição – Revisada e ampliada. 858 p.

MAIA, S. B.; **O vidro e sua fabricação.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003. Coleção Interdisciplinar. 211 p. p. 43 – 56.

MINEROPAR – MINÉRAIS DO PARANÁ S.A.; **Caracterização tecnológica de rochas calcárias para agregados de concreto.** Disponível em: <<http://www.celepar.br/mineropar/htm/rocha/carctconcreto.html>>, Copyright 2003. Acesso em: 19 set. 2005.

MÜLLER, A.A.; SANTOS, H.N.; SCHMITT, J.C.C.; MACIEL, L.A.C.; BERTOL, M.A.; CÉSAR, S. B. – **Perfil Analítico do Carvão, Boletim nº 6, 2ª Edição revisada e atualizada** – Departamento Nacional da Produção Mineral, Ministério das Minas e Energia, P.A., 1987.

NAVA. **Principais Depósitos Minerais do Brasil.** Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral. Cia. de Pesquisa de Recursos Minerais, 1997. 634p. p. 315 – 329 (Rochas e Minerais – Parte C, Volume IV).

NEVES, M.R.; **A relação entre mercado produtor e consumidor de bens minerais. Estudo de caso: A indústria vidreira no Estado de São Paulo.** Campinas, Instituto de Geociências / UNICAMP, 1990. 162 p. Dissertação (Mestrado).

NOWATZKI, C.H. e ZELTZER, F. - **Minerais e Rochas** - Redacta-Prodil, Porto Alegre, 1979.

PERRY, J. H. - **Chemical Engineers' Handbook**, Fourth Edition - McGraw-Hill Book Company e Kogakusha Company, Ltd., Tokyo, 1963.

PINHEIRO, A.K.; **Tecnologia do concreto de cimento Portland: parte III – Controles**. Rio de Janeiro: Escola de Engenharia/UFRJ, 1986. p.46,47,54-56, 78-81.

RUIZ, M.S.; NEVES, M.R. (Coordenadores); **Mercado produtor mineral do Estado de São Paulo: levantamento e análise**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1990. 185 p. p.1- 22, 33 – 84.

VALENTE, J.C.P.; MELLO, E.F.; BERBERT, M.C.; PEREIRA, S.Y.; BARROS, A.A.M.; COSTA, A.M.C.; COSTA, V.C.; **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA): Mineração Aguapeí S.A.** Rio de Janeiro, TerraByte, 2000. 228 p.

WEISS, NL.; **SME Mineral Processing Handbook**. New York: Publicação Society of mining Engineers of the American Institute of mining, metallurgical and petroleum, Inc., 1985. V.2, seção 29 - p. 18