

A Possibilidade de Utilização de Areias Marinhas como Agregado na Construção Civil na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará

Cavalcanti V.M.M.¹ & Freire G.S.S.²

¹ Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM/10.º Distrito - Rua Dr. José Lourenço, 905 – Meireles – CEP 60.115-280 - Fortaleza – CE vanessa@dnpm.gov.br;

² Universidade Federal do Ceará - Departamento de Geologia - Campus do Pici – CEP 60.451-970 - Fortaleza – CE freire@ufc.br.



RESUMO

A exploração de dunas, canais e planícies de inundação de rios, visando à extração de areias para utilização como agregados, vem ocorrendo a bastante tempo nas regiões metropolitanas brasileiras, ocasionando tanto a exaustão desses recursos minerais nas proximidades desses centros urbanos quanto sérios problemas ambientais.

A exploração de areias marinhas para uso na construção civil é realizada em vários países do mundo, podendo se constituir em uma opção para um país com área costeira tão extensa e com a maioria das principais regiões metropolitanas localizadas na zona costeira.

Para realização do estudo de caracterização das areias para utilização como agregado, foi selecionada uma área na região Nordeste do Brasil, na plataforma continental de Fortaleza, capital do Estado do Ceará.

Com relação à granulometria, a reatividade potencial e a presença de material pulverulento, argila em torrões, impurezas orgânicas e micas, as amostras de areias marinhas apresentaram resultados bastante satisfatórios, sendo, inclusive, no caso das impurezas orgânicas, superiores a algumas areias continentais em exploração.

Os maiores problemas para sua utilização são os teores em sais e em CaCO_3 . Em relação ao teor de CaCO_3 , menos de 20% das amostras apresentaram valores inferiores a 30%, sendo necessário um peneiramento a 4 mm das mesmas e ensaios em corpos de prova para comprovar se são ou não adequadas para utilização na construção civil. Quanto à presença de sais, mais de 90% das amostras foram classificadas como não salinas, para descarregamento hidráulico em tremonha, podendo ser utilizadas para a fabricação de argamassas e de qualquer tipo de concreto armado ou não.

ABSTRACT

The exploration of dunes, channels and floodplains of rivers, seeking the extraction of sands for use as aggregates in the production of the concrete, it comes being implemented there is plenty of time in the metropolitan areas of the country, causing the exhaustion of those mineral goods so much in the proximities of the great urban centers as serious related environmental problems the mining activity.

Objectifying to facilitate the creation of a new alternative for the problem of the extraction of sand in the coastal metropolitan areas, an area was selected in the continental platform to northwest of the point of Mucuripe, in Fortaleza City for accomplishment of the study of characterization of the sands for use as aggregates in the production of the concrete.

With relationship the granulometry, the potential alkali reactivity and the presence of materials finer than $75\mu\text{m}$, clay lumps and friable particles, organic impurities and mica, the samples of marine sands presented quite satisfactory results.

The largest problems for use of the marine sands in the civil construction can be the contents in salts and in carbonate of calcium. In relation to the contents of CaCO_3 , less than 20% of the analyzed samples presented inferior values at 30%, being necessary a bolting to 4 mm of the samples and tests on mortars to be proven those sands is adapted for use as aggregates in the production of the concrete. As the presence of salts in the marine sands, more than 90% of the studied marine sands were classified as not saline, for hydraulic discharge, could be used for the production of mortars and of any type of armed concrete or not.

Palavras chave: areias marinhas; recursos minerais marinhos; agregado marinho; qualidade de materiais marinhos.

INTRODUÇÃO

A exploração de dunas, canais e planícies de inundação de rios, visando à extração de areias para utilização como agregados na construção civil, vem sendo realizada há bastante tempo nas regiões metropolitanas do Brasil, ocasionando tanto a exaustão desses bens minerais nas proximidades dos grandes centros urbanos quanto sérios problemas ambientais. Como areias marinhas são utilizadas na construção civil em vários países do mundo, sua exploração pode se constituir em uma opção para um país com área costeira tão extensa.

Este trabalho objetivou o estudo de um depósito de areias marinhas para utilização como agregado na construção civil na região Nordeste do Brasil, mais precisamente na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do

Ceará, que poderá vir a ser uma opção em substituição aos depósitos aluviais em exploração, tendo por base que o principal componente no preço do agregado é o transporte e que, atualmente, as principais áreas de areia grossa em exploração estão em torno de 100 km de distância deste centro consumidor.

A ÁREA DE ESTUDO

A seleção da área para estudo foi baseada em três parâmetros: a distância ao centro consumidor menor que 15 milhas; a profundidade inferior a 25 metros; e a granulometria entre areia grossa e cascalho. Com base nesses parâmetros foi selecionada uma área na plataforma continental a noroeste da ponta do Mucuripe, em Fortaleza – CE (Fig. 1).

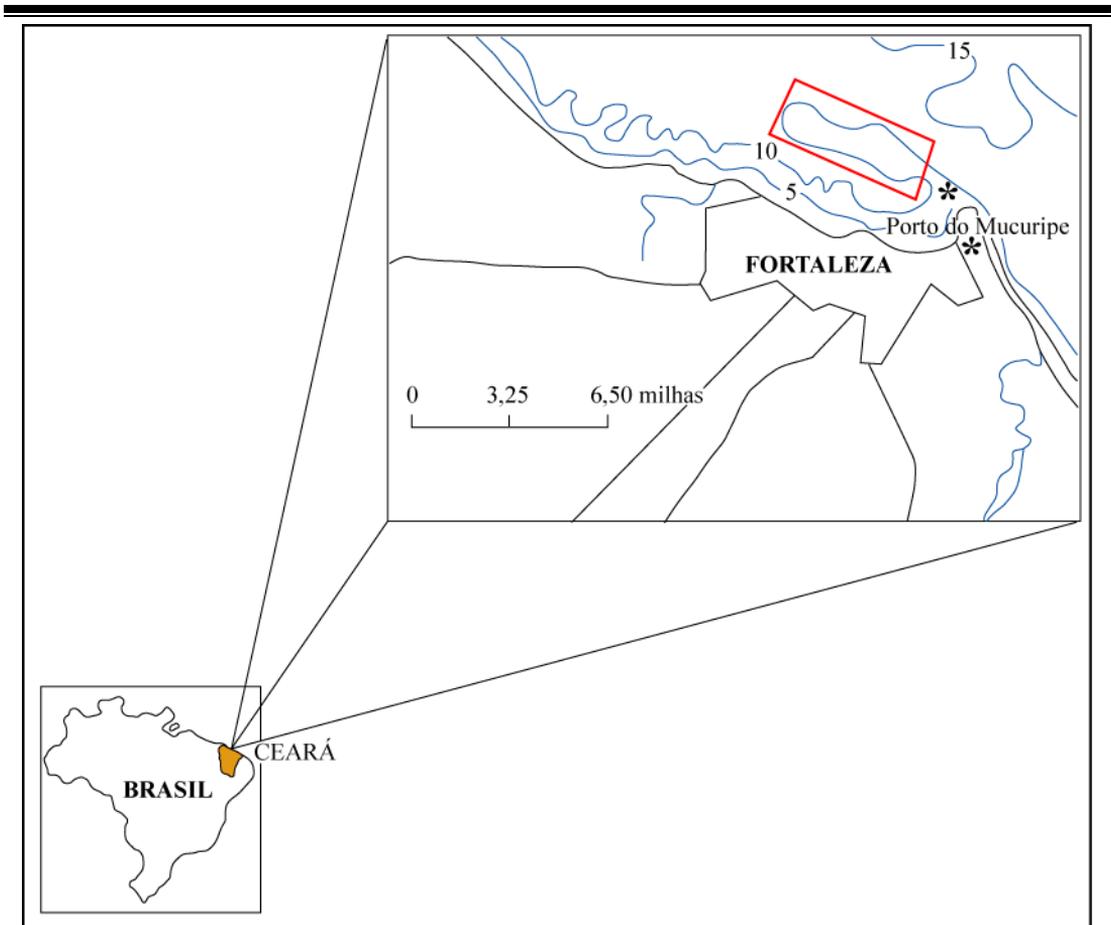


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Trata-se de um banco de areia com área de 2,1 milhas náuticas² e profundidade média de 11 metros, localizado em um raio de 10 milhas da cidade de Fortaleza. Os estudos realizados mostraram que os sedimentos são predominantemente siliciclásticos, com textura variando de areia média a cascalho, com predomínio de areia grossa sobre as demais frações, bem como de quartzo sobre a fração total de areia, que apresenta grãos subarredondados a angulosos, brilhosos, pobremente a moderadamente selecionados. A associação biodetrítica é formada por fragmentos de carapaças animais, onde predominam moluscos e gastrópodes (Fig. 2).

Pelas características observadas, ou seja, granulometria, predominantemente, grossa, rico em conchas, seixos achatados e, principalmente, a presença de fragmentos de *beach rocks* associados, sugere-se que, provavelmente, trata-se de uma antiga linha de praia exumada, retrabalhada pelas ondas e marés. Como não fez parte do objetivo deste trabalho o estudo da origem e evolução deste banco arenoso, não foi realizado um trabalho mais aprofundado sobre o assunto.

MATERIAL E MÉTODO

A metodologia de estudo constou de: levantamento de dados pretéritos e confecção de bases cartográficas; ecobatimetria, com estações espaçadas de $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ milha; 1.^a amostragem em malha de $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ milha, utilizando amostrador *Van Veen* e 2.^a amostragem em estações pré-selecionadas, com draga de arrasto para 20 kg de sedimento. Nas amostras da 1.^a amostragem foram realizados: análise granulométrica; dosagem de CaCO_3 e salinidade. Nas amostras da 2.^a amostragem foram realizados os seguintes ensaios para caracterização do agregado, usando a normalização brasileira quando existente e a francesa na falta desta: composição granulométrica; teor de argila em torrões e materiais friáveis; massa específica; massa unitária; teor de materiais pulverulentos; avaliação de impurezas orgânicas; reatividade

potencial pelo método químico; teor de sais, cloretos e sulfatos solúveis; teor de conchas; difração de raios-x e teor em micas. Paralelamente, foram realizados ensaios em amostras do agregado de origem continental utilizado atualmente. Finalmente foi realizada a interpretação dos resultados e definida a qualidade do material, que foi comparado com as areias utilizadas como agregado na Região Metropolitana de Fortaleza.

A QUALIDADE DAS AREIAS MARINHAS

A operação básica para todo estudo de um depósito de granulados marinhos, consiste na caracterização do material e na definição das condições de utilização dos granulados. Os documentos de base a serem utilizados são as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e as normas francesas da *Association Française de Normalisation* (AFNOR), quando faltar normalização brasileira.

Os principais critérios de caracterização de um agregado, seja ele continental ou marinho, são: a granulometria do material; as propriedades da areia, incluindo-se a quantidade de elementos finos e micas, as impurezas orgânicas e a reatividade com os álcalis do cimento; o teor em CaCO_3 , no caso de areias com conchas; e o teor em sais. A utilização de areias marinhas para a fabricação do concreto pode apresentar, principalmente, dois problemas, o teor em sais e em conchas, bem como, localmente, podem apresentar altos teores em argilas e micas.

Com relação à composição granulométrica, a reatividade potencial e a presença de material pulverulento, argila em torrões, impurezas orgânicas e micas, as amostras de areias marinhas apresentaram resultados bastante satisfatórios, sendo, inclusive, no caso das impurezas orgânicas, superiores a algumas das areias continentais em exploração (Tabela 1).

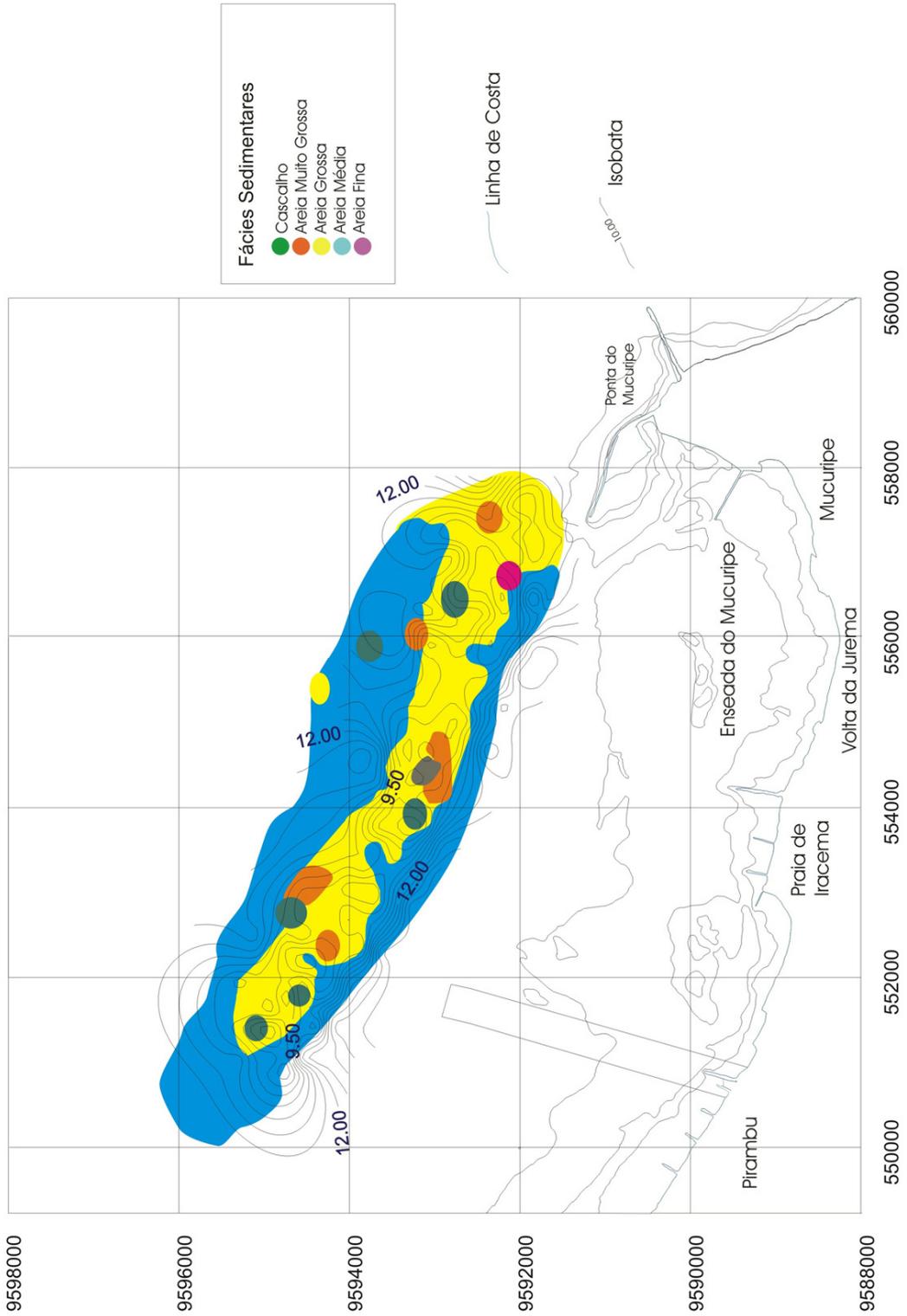


Figura 2. Mapa de fácies sedimentares.

Tabela 1. Comparação das características do agregado marinho e continental.

	AREIAS MARINHAS	AREIAS CONTINENTAIS	PADRÃO
Dimensão máxima característica (D_{max}) (NBR 7217)	1,2 a 9,5 mm (4,8 mm)	1,2 a 6,30 mm (4,8 mm)	
Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218)	0,01 a 0,86 %	0,10 a 1,60 % (0,20%)	Limite máximo = 1,5%
Avaliação de Impurezas Orgânicas (NBR 7221)	Todas as amostras com resultado satisfatório	Maioria das amostras com resultado satisfatório	
Teor de Materiais Pulverulentos (NBR 7220)	0,40 a 2,94 % (< 1 %)	0,60 a 3,00 % (< 1 %)	Limites máximos: 3% - para concretos submetidos a desgaste superficial e 5% - outros tipos
Teor em Micas	< 1 %	< 1 %	Limite máximo = 5 %
Reatividade Potencial (NBR 9774)	Inócuas	Inócuas	

AS CONCHAS

As conchas criam vazios dentro do concreto, aumentando a porosidade e podem ser responsáveis por um rebaixamento da resistência, notadamente da resistência à compressão. A resistência à tração pode igualmente ser afetada pela existência de uma camada prismática de aragonita que não favorece as ligações pasta-agregado. As conchas intactas podem também apresentar restos de uma fina película orgânica que é igualmente nociva as ligações pasta-agregado. Pela mesma razão, há o risco da presença de conchas ocasionar uma porosidade desfavorável à resistência à corrosão.

Não existe normalização brasileira que trate da presença de conchas ou carbonato de cálcio nos agregados utilizados na fabricação do concreto. A norma francesa NF P 18-301, relativa à *Granulats naturels pour bétons hydrauliques*, indica que os teores em fragmentos de conchas não devem ultrapassar 30%.

Augris & Cressard (1984) indicam os seguintes limites de carbonato de cálcio para a utilização do agregado na fabricação do concreto: inferior a 10%, aceitável; entre 10 e 20%, médio, deve ser confirmado por ensaios em corpos de prova; entre 20 e 30%, forte, ensaios em corpos de prova indispensáveis; e superior a 30%, inaceitável. Estes valores correspondem aos teores de $CaCO_3$

determinados por análise química. Paralelamente, o exame das amostras à lupa binocular permite determinar por contagem a porcentagem numérica dos fragmentos de conchas.

O peneiramento a 4 ou 5 mm diminui quase sempre e sensivelmente o teor em conchas, essencialmente por eliminação das conchas inteiras, que são as mais nocivas e, via de regra, estão restritas as frações mais grossas.

Os resultados das determinações dos teores de $CaCO_3$ nas amostras da área estudada indicaram que apenas 18,79% apresentaram teor de $CaCO_3$ inferior a 30% e podem ser utilizadas sem tratamento, conforme a norma francesa NF P 18-301 (Fig. 3).

O teor em conchas, propriamente dito, determinado por contagem à lupa binocular foi sempre inferior a 20%, devendo-se os altos teores em $CaCO_3$ aos fragmentos de algas calcárias e as películas carbonáticas que podem ocorrer recobrando os grãos.

Com estes resultados, para utilização das areias, que apresentaram teor em $CaCO_3$ maior que 30%, como agregados na fabricação do concreto, será necessário um peneiramento à 4 mm, que diminui sensivelmente a quantidade de conchas e de fragmentos de algas, principalmente aquelas inteiras, que são as mais nocivas. Com relação às areias continentais, todas as amostras apresentaram teores inferiores a 10%.

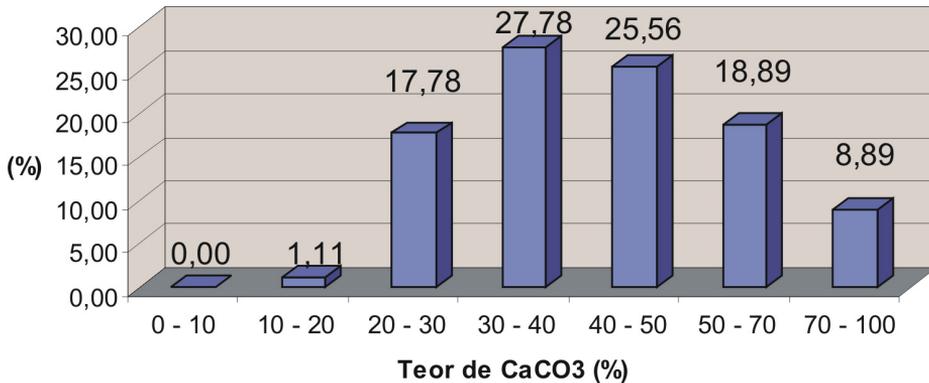


Figura 3. Distribuição dos teores de CaCO₃ nas amostras da área estudada.

OS SAIS

Uma vez que se tratam essencialmente de areias quartzosas ou quartzo-feldspáticas, os sais presentes nos agregados marinhos não são provenientes das mesmas, mas unicamente da água da mar. Depois da secagem, o sal restante está localizado, somente, no exterior dos grãos e tanto ele cristaliza na superfície quanto dentro de depressões dos grãos, formando cristais cúbicos facilmente observáveis ao microscópio. Com base nisso, Boutmin (1986) define que o teor em sais dos agregados será função do teor em água de retenção das areias e da salinidade das águas residuais.

Os agregados marinhos explorados, economicamente, na região do *Pays de la Loire* - França, são extraídos através de dragagem por aspiração, sendo o material colocado nos porões da draga para decantação e desembarcado em terra por descarregamento hidráulico em bacia ou em tremonha (Fig. 4). No descarregamento hidráulico em tremonha, a mistura água/areia é despejada em um reservatório em forma de funil, que permite a estocagem das areias, geralmente equipado com uma peneira. No descarregamento hidráulico em bacia, a mistura é colocada diretamente em um grande reservatório.

Como os sais associados às areias estão dissolvidos na água, é necessário definir os diferentes tipos de água que, segundo Boutmin & Ottman (1988), são a água de saturação e a água de retenção.

A Água de saturação é aquela que ocupa a totalidade dos espaços intergranulares. As areias imersas são a princípio saturadas e seu

teor em água depende de sua granulometria e da sua acumulação. O teor de água de saturação máximo medido para as areias extraídas do mar, na região do *Pays de la Loire* - França, destinadas para trabalhos públicos é de 30%.

A perda de água de uma areia que sofreu descarregamento hidráulico em terra ocorre quando a areia passa de um estado saturado para um estado escorrido, pela eliminação da água livre ou água de percolação, sendo a água restante chamada de água de retenção, a qual permanece fixa sob a forma de uma película na superfície dos grãos (água pelicular). Por ocasião da secagem da areia, quando a água de retenção é eliminada por evaporação, o teor em sal da areia permanece constante. Logo, o teor em sal residual de uma areia será função de seu teor em água de retenção.

Segundo Boutmin (1986), pode-se considerar uma areia como escorrida após 1 hora, quando o teor em sal não evolui mais. O mais alto teor em água de retenção medido após uma hora de escorrimento, na região do *Pays de Loire* - França foi de 21%.

A salinidade da água do mar medida com refratômetro, no momento da coleta das amostras na área estudada, indicou uma variação de 35 a 37‰, com média de 35,66‰.

Os sais da água do mar nocivos para o concreto são os cloretos (sais contendo íons Cl⁻¹) e os sulfatos (sais contendo íons SO₄⁻²).

Serão examinados sucessivamente os teores em sais das areias nos casos extremos de uma areia descarregada hidráulicamente com uma água do mar a 37‰ e retendo ainda 21% de água após uma hora de escorrimento.

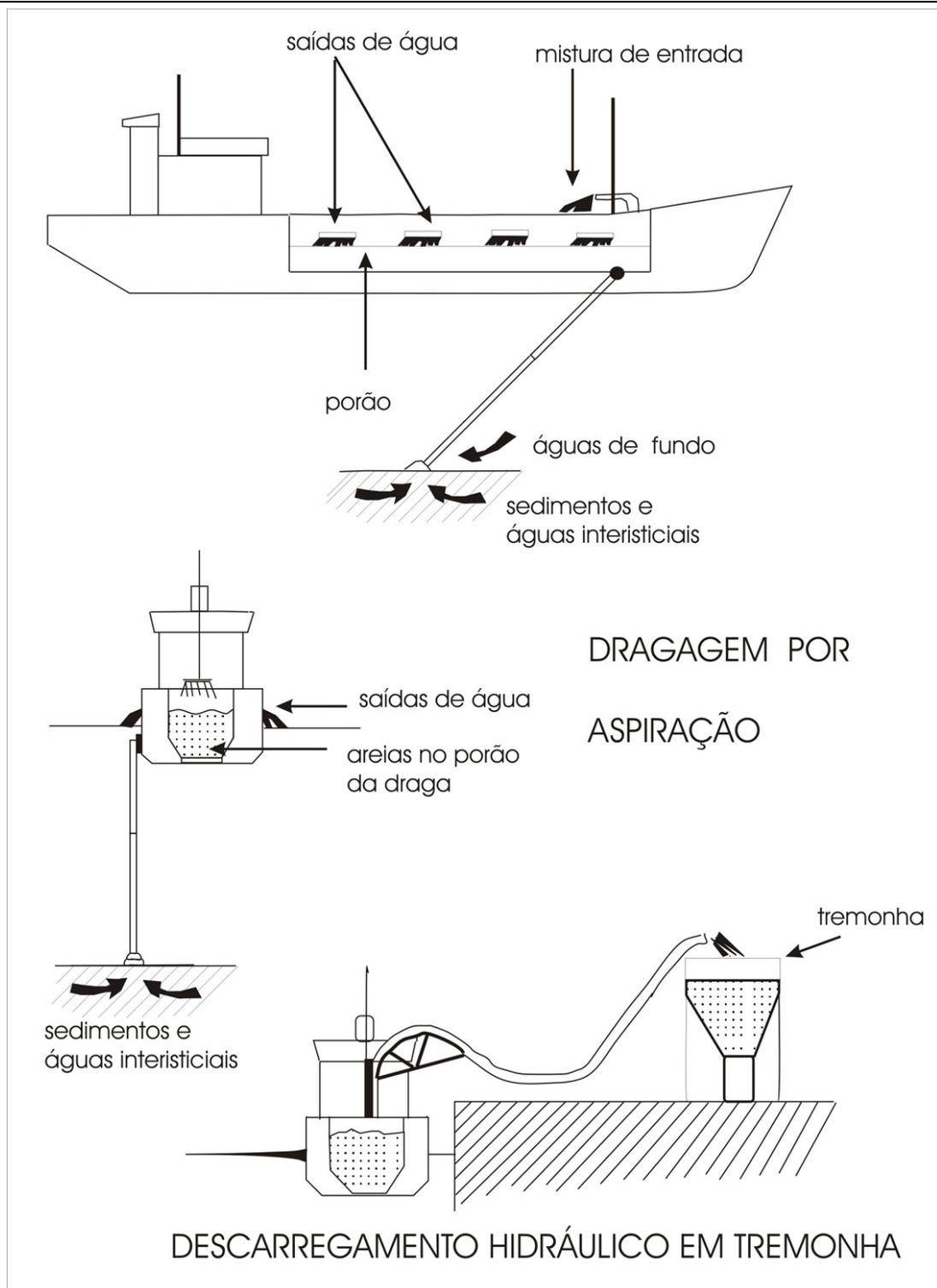


Figura 4. Desenho esquemático mostrando a dragagem por aspiração e o descarregamento hidráulico em tremonha (modificado de Boutmin, 1986).

SULFATOS

Os sulfatos reagem com diferentes constituintes da pasta (aluminato tricálcico), dando um composto chamado *sal de Candlot*. A formação tardia desse sal expansivo pode conduzir a formação de fissuras, que ocasionam a quebra do concreto.

A norma francesa NF P 18-301 relativa a *Granulats naturels pour bétons hydrauliques* indica que o teor em enxofre total (sulfatos e sulfetos), expresso em SO_3 , é determinado conforme a norma NF P 18-582, devendo ser inferior a 0,40% da massa dos granulados. Deve ser observado que esta norma (NF P 18-301) visa essencialmente os minerais como gipsita, anidrita, pirita e marcassita. Os sulfatos e sulfetos presentes na água do mar são, com efeito, em concentrações demasiado baixas para serem responsáveis por um teor de SO_3 de 0,4%. Considerando uma água do mar de salinidade 37‰ (salinidade máxima) e um teor em água de retenção de 21% (210 g d'água por kg de areia seca), tem-se que 1 kg de água do mar (35‰) contém menos de 3,75 g de sulfatos, o que representa 2,712g de íons SO_4^{2-} caso seja considerada 1 kg de água do mar com salinidade 37‰, tem-se 3,964g de sulfatos, representando 2,86 g de SO_4^{2-} . Logo, no caso extremo de utilização de uma areia a 21% de água do mar, o aporte em íons SO_4^{2-} será de 0,601 g/kg de areia seca, isto é, um teor em enxofre expresso em SO_3 de 0,049%, segundo a norma NF P 18-301. Este valor é mais de 7 vezes inferior ao teor admissível (0,4%), o que torna negligenciável a quantidade de sulfatos presente nos granulados marinhos.

Foram realizadas análises para determinação dos teores de sulfatos, conforme prescreve a NBR 9917, nas areias marinhas do banco arenoso estudado, cujos resultados foram todos inferiores a 10 ppm. Com isso, visto que não foi encontrada na bibliografia nacional nenhuma referência a teores máximos de sulfatos nos agregados, caso sejam considerados os prescritos pela norma francesa NF P 18-301, os valores encontrados são bastante irrisórios.

CLORETOS

Os cloretos podem acelerar a pega do cimento e com isso diminuir o tempo de trabalhabilidade do concreto. Podem também

reagir com o ferro-aluminato tetracálcico e com o aluminato tricálcico para formar cloroaluminatos, podendo provocar um aumento da porosidade e, por consequência, uma diminuição da resistência do concreto.

Um efeito secundário muito temido dos cloretos é a corrosão das armaduras de aço, que depende do teor de cloretos livres, o qual é função da quantidade total de íons Cl^- presentes no concreto, da natureza do cimento (teor em aluminato tricálcico) e da porosidade do concreto, pois os cloroaluminatos em presença de água são susceptíveis de liberar íons Cl^- . Os teores de sulfatos parecem igualmente influenciar a corrosão, dentro da medida em que uma parte do aluminato tricálcico será consumida pelos sulfatos, o que ocasionará um aumento dos cloretos livres (Rubaud & Bonnet, 1982). Além disso, em ambiente úmido, os cloretos podem ser a causa de eflorescências.

Não há norma brasileira prevendo um limite máximo em íons cloreto para todos os constituintes do concreto, a NBR 6118 refere-se ao limite máximo de 500 mg/l de íons cloro para a água destinada ao amassamento do concreto.

Conforme a norma francesa DTU 21-4, o teor global de íons cloro (Cl^-) de todos os constituintes do concreto não deve exceder: 1% da massa do cimento para as argamassas e os concretos não armados; 0,65% da massa do cimento para os concretos armados; 0% da massa do cimento para o caso dos concretos protendidos.

Os íons Cl^- podem ser provenientes dos seguintes constituintes do concreto: dos granulados (agregados miúdos), da água de amassamento, do cimento ou ainda dos eventuais aditivos utilizados. Outro constituinte do concreto que não contém cloretos é a brita (agregado graúdo). Neste trabalho, somente será considerada a parte suscetível de ser proveniente dos granulados. Considerando:

- uma água do mar de salinidade 37‰ (salinidade máxima) e,
- um teor em água de retenção de 21% (210g d'água por kg de areia seca). 1 kg de água do mar (salinidade de 35‰) contém menos de 31g de cloretos, ou seja, 19,35 g de íons Cl^- ; caso seja considerada 1 kg de água do mar com salinidade 37‰, tem-se 32,77g de cloretos, representando 20,45 g de Cl^- . Logo, no caso extremo de utilização de uma areia a 21% de água do mar, o aporte em íons Cl^- será de 4,294

g/kg de areia seca, isto é um teor em íons Cl^{-1} de 0,429% da massa dos granulados. Numa argamassa, onde o cimento representaria um terço da massa dos granulados, obtém-se um teor em íons Cl^{-1} de 1,28% da massa do cimento.

O valor encontrado é superior aos valores admissíveis, e embora a situação aqui descrita seja um caso extremo, é conveniente que estes dados sejam considerados, devendo ser melhor analisados.

TEOR EM ÍONS CLORO

Como já citado anteriormente, o teor em sais dos granulados será função do teor em água de retenção das areias, após o descarregamento, e da salinidade das águas residuais, parâmetros que serão detalhados a seguir.

TEOR EM ÁGUA DE RETENÇÃO DAS AREIAS

No caso aqui apresentado, os cálculos dos teores em sais residuais serão realizados a partir do teor em água de retenção após 1 hora de escoamento que, de acordo com Boutmin (1986) permite um excelente escoamento. Nos locais onde há exploração de granulados marinhos, após a extração, as areias sempre são submetidas a um tempo de escoamento bem superior, antes de serem utilizadas. Logo, os teores em sais calculados serão, via de regra, os valores máximos.

Segundo Boutmin (1986), o teor em água residual de uma areia está ligado a sua granulometria. O parâmetro granulométrico que reflete melhor a capacidade de retenção é a superfície *deployée* (Sd) ou superfície específica. A superfície específica (Sd) é obtida assemelhando-se a cada classe granulométrica um conjunto de esferas de densidade 2,65 (densidade do quartzo) e de diâmetro equivalente a dimensão média das duas peneiras consideradas, sendo expresso em $\text{cm}^2/100 \text{ g}$. A determinação da superfície específica (Sd) necessita do estudo granulométrico das areias, sendo exemplificado, na Tabela 2, o cálculo da Sd realizado em duas das amostras do banco de areia estudado.

A relação entre a superfície específica e o teor em água de retenção de uma areia foi

determinada por Boutmin (1986) que, ao longo dos ensaios realizados, verificou que a espessura da amostra de areia condicionava fortemente a perda de água, ou seja, a espessura da areia facilita o seu escoamento e este será tanto maior, caso haja uma agitação das frações finas. O autor definiu dois processos de medidas em laboratório, para as espessuras de 35 e 125 cm, correspondendo, respectivamente as duas maneiras de descarregamento hidráulico em terra, ou seja, descarregamento hidráulico em bacia e em tremonha. Os resultados obtidos mostram que o escoamento das areias descarregadas é bastante diferente, sendo excelente no caso do descarregamento hidráulico em tremonha e mais difícil e mais reduzido em bacia.

Logo, conhecendo-se a sua granulometria, a determinação do teor em íons cloro da areia será conduzida à medida do teor em íons cloro das águas utilizadas por ocasião do seu último descarregamento hidráulico.

TEOR EM ÍONS CLORO DAS ÁGUAS DE DESCARREGAMENTO HIDRÁULICO

Como no Brasil não existe nenhuma lavra de agregados marinhos, aqui serão consideradas as mesmas condições de dragagem e descarregamento em operação na região de *Pays de Loire*, França, onde as águas utilizadas para o descarregamento hidráulico dos agregados resultam de uma mistura das águas fluviais com a água do mar, provenientes do rio *Loire*.

O teor em íons cloro das águas pode ser calculado a partir de sua salinidade. O teor em Cl^{-1} pode ser deduzido da salinidade pelas duas equações abaixo:

- Lei de Dittmar [$\text{Cl}^{-1} = \text{Salinidade} / 1,80655$];
- Boutmin (1986) [$\text{Cl}^{-1} = 0,556 \times \text{salinidade} - 0,241$].

A última equação foi obtida por regressão linear em 31 pares salinidade-teor em íons cloro (coeficiente de correlação de 0,99), permitindo deduzir o teor em Cl^{-1} da salinidade, com um erro inferior a 4%, quando a salinidade é maior que 10‰.

A totalidade dos sais dissolvidos nas águas fluviais é próxima de 120 mg/l, ou seja, cerca de 300 vezes menos elevada que a da água do mar. Muito embora a água utilizada no descarregamento hidráulico seja uma mistura da

água fluvial com a água do mar, será abordado aqui o caso extremo de uma água de descarregamento hidráulico com 36,4‰ de salinidade (valor acima da média obtida para as águas de saturação, no momento da coleta), não sendo, portanto, considerada a diluição ocorrida

nas operações de descarregamento hidráulico. Logo, o teor máximo em Cl^{-1} das águas de descarregamento hidráulico será fixado em 20‰, utilizando-se a equação acima, proposta por Boutmin (1986).

Tabela 2. Exemplos do cálculo da superfície *deployée* ou específica de duas areias coletadas na área estudada.

Amostra	Geo373	Areia Grossa			
	A	B	C	D	E
Peneira (mm)	Diâmetro da esfera equivalente (mm)	Superfície Específica da classe (cm ² /g)	Peso da areia (g)	Superfície <i>deployée</i> C x D (cm ²)	
8,000	6,800	3,329		0,000	
5,600	4,800	4,717		0,000	
4,000	3,400	6,659		0,000	
2,800	2,400	9,434	2,123	20,028	
2,000	1,705	13,279	2,497	33,158	
1,410	1,205	18,790	1,279	24,032	
1,000	0,855	26,481	10,709	283,585	
0,710	0,605	37,424	36,326	1359,464	
0,500	0,425	53,274	29,561	1574,833	
0,350	0,300	75,472	8,443	637,210	
0,250	0,214	106,049	4,449	471,812	
0,177	0,151	149,944	2,007	300,938	
0,125	0,107	210,619	0,941	198,192	
0,090	0,076	297,915	0,129	38,431	
0,062	0,053	423,206	1,536	650,044	
0,045	0,0225	1006,289		0,000	
Total			100,00	5591,728	
(a)					

Amostra	Geo408	Areia Grossa com Cascalho			
	A	B	C	D	E
Peneira (mm)	Diâmetro da esfera equivalente (mm)	Superfície Específica da classe (cm ² /g)	Peso da areia (g)	Superfície <i>deployée</i> C x D (cm ²)	
8,000	6,800	3,329		0,000	
5,600	4,800	4,717		0,000	
4,000	3,400	6,659	25,952	172,814	
2,800	2,400	9,434	11,749	110,840	
2,000	1,705	13,279	5,132	68,148	
1,410	1,205	18,790	2,888	54,266	
1,000	0,855	26,481	3,922	103,858	
0,710	0,605	37,424	8,215	307,438	
0,500	0,425	53,274	21,433	1141,822	
0,350	0,300	75,472	13,581	1024,985	
0,250	0,214	106,049	4,106	435,437	
0,177	0,151	149,944	1,634	245,008	
0,125	0,107	210,619	0,681	143,432	
0,090	0,076	297,915	0,071	21,152	
0,062	0,053	423,206	0,636	269,159	
0,045	0,0225	1006,289		0,000	
Total			100,00	4098,360	
(b)					

Boutmin (1986) também definiu o produto de descarregamento hidráulico (K), um fator que representa o produto água de descarregamento/areia seca. No caso geral, onde a salinidade da água do poço da draga é superior a salinidade da água utilizada para o descarregamento, ou seja, uma areia dragada no mar e descarregada em estuário, o fator K traduz a diluição das concentrações de sal que ocorrem por ocasião do descarregamento hidráulico das areias. No caso da salinidade da água de descarregamento hidráulico ser a mesma das águas dos poços das dragas, o fator K pode ser desconsiderado.

OS TEORES LIMITES EM ÍONS Cl^{-1}

Não foi encontrada normalização que indique teores limites em íons cloro para os agregados. Boutmin (1986) fixou valores máximos de íons Cl^{-1} para o cimento e as águas de amassamento, com o objetivo de definir um teor em íons cloro, que seja indicativo para a utilização dos granulados marinhos na fabricação de qualquer tipo de concreto.

Nos cimentos, os cloretos estão ausentes ou em quantidade muito pequena, não existindo, inclusive, normalização brasileira que

contemple o limite máximo de cloretos no cimento. Rubaud & Bonnet (1982) definem um teor de 0,004% de Cl^{-1} , como o valor máximo obtido, após análise química de oito cimentos diferentes fabricados na França.

As águas de amassamento contêm, geralmente, de 20 a 40 mg de íons Cl^{-1} por litro, o que representa, pegando-se uma água com 40 mg/l, um teor de 0,004% de Cl^{-1} . A NBR 6118 prescreve que a água de amassamento não deverá apresentar um teor em cloretos superior a 500 mg/l.

Será feito aqui o cálculo do teor limite de íons Cl^{-1} nos granulados, conforme sugerido por Boutmin (1986), utilizando-se uma proporção máxima areia/cimento dosada a 1/3, para o caso de uma argamassa, na qual o agregado é exclusivamente areia. Não são utilizados aditivos contendo cloretos.

O teor global em íons cloro de todos os constituintes do concreto não deve exceder 0,65% do peso do cimento para o concreto armado, de acordo com a norma francesa DTU 21-4. Considerando a dosagem areia/cimento a 1/3, tem-se o máximo de 2,925 g de Cl^{-1} (0,65 x 450/100). Podendo-se, portanto, fazer o seguinte cálculo:

- Cimento (0,004% de Cl^{-1}) 450 g - (0,004% x 450/100)	0,018 g de Cl^{-1}
- Água (0,004% de Cl^{-1}) 225 g - (0,004% x 225/100)	0,009 g de Cl^{-1}
- Granulado (X% de Cl^{-1}) 1.350 g - (X x 1.350/100)	Y g de Cl^{-1}
	Total 2,925 g de Cl^{-1}

Obtém-se, então, um valor possível para os agregados de 2,898 g de Cl^{-1} , ou seja, um teor de 0,215% de Cl^{-1} por kg de areia.

O mesmo cálculo efetuado para um teor global em íons cloro de 1 % do peso do cimento, prescrito pela mesma norma francesa DTU 21-4, para utilização em argamassas e concretos não armados dão um limite de 0,333% de Cl^{-1} nos agregados.

Nessas condições, água de amassamento com menos de 40 mg/l de Cl^{-1} , cimento com menos de 0,004% de Cl^{-1} e ausência de aditivos contendo cloretos, as areias que contêm menos de 0,21% de Cl^{-1} são utilizáveis para a fabricação de qualquer tipo de concreto, armado ou não, desde que também estejam de acordo com as demais prescrições.

Do mesmo modo, as areias que contêm menos de 0,33% de Cl^{-1} são utilizáveis para a fabricação dos concretos não armados.

De acordo com o mesmo autor, com base nos cálculos apresentados, os agregados marinhos podem ser classificados em:

- não salinos, apresentam teores de íons cloro inferiores a 0,21%;
- fracamente salinos, apresentam menos de 0,33% de íons cloro;
- salinos, apresentam mais de 0,33% de íons Cl^{-1} .

Como o teor em íons cloro das areias é função da granulometria (Sd) e da salinidade das águas de descarregamento hidráulico, tem-se que, com o valor máximo de 20% para o teor

em Cl^{-1} das águas de descarregamento, é possível, qualquer que seja a salinidade destas águas, com base no gráfico da Figura 5, definir que as areias desembarcadas em tremonha de superfície específica (Sd) inferior a 6.700

$cm^2/100\ g$ contêm menos de 0,21% de íons Cl^{-1} , sendo classificadas como não salinas, podendo ser utilizadas para a fabricação de argamassas e de qualquer tipo de concreto armado ou não.

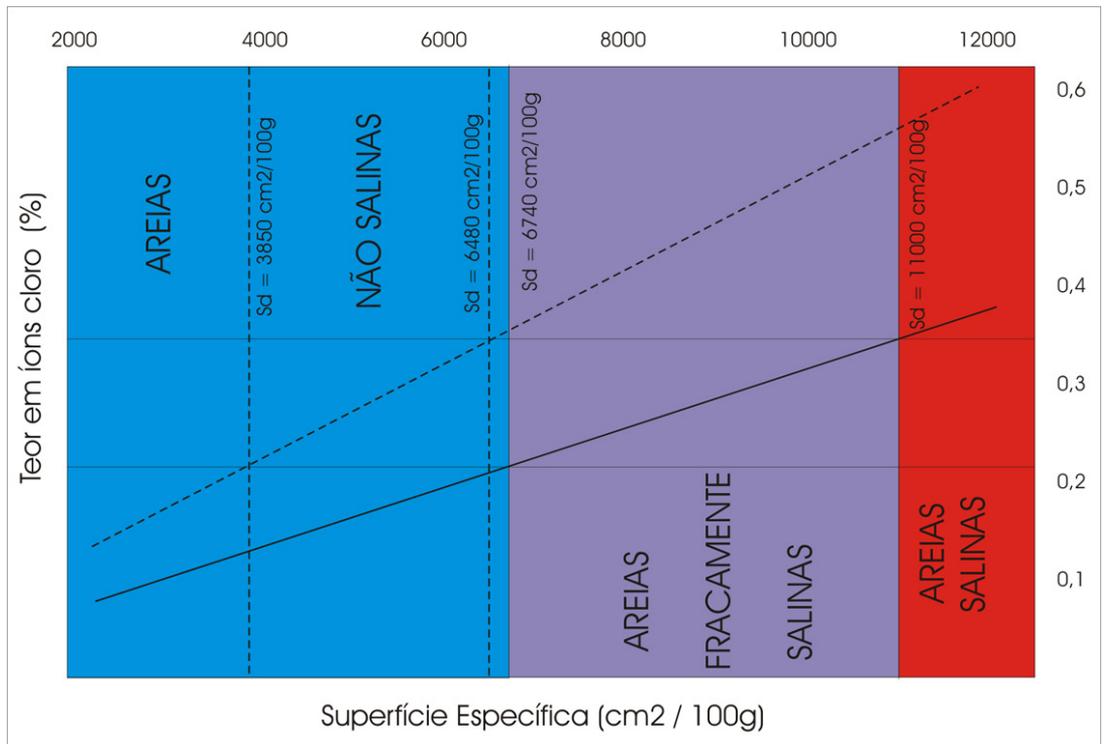


Figura 5. Teores em íons cloro das areias descarregadas hidraulicamente em tremonha, considerando como 20% o teor em Cl^{-1} das águas de descarregamento hidráulico. Modificado de Boutmin (1986).

Da mesma maneira, as areias de superfície específica inferior a $11.000\ cm^2/100\ g$ contêm menos de 0,33% de íons cloro, sendo classificadas como fracamente salinas, podendo ser utilizadas em argamassas e concretos não armados.

A determinação da superfície específica de 75 amostras estudadas proporcionou a obtenção do seguinte quadro, após os resultados serem plotados no gráfico da Figura 5:

- 90,54% com superfície específica inferior a $6.700\ cm^2/100\ g$, ou seja, classificadas como não salinas, para areias descarregadas hidraulicamente em tremonha, com água de descarregamento com teor de 20% de Cl^{-1} ;
- 6,76% com superfície específica entre 6.700 e $11.000\ cm^2/100\ g$, ou seja, classificadas como fracamente salinas, para areias descarregadas

hidraulicamente em tremonha, com água de descarregamento com teor de 20% de Cl^{-1} ;

- 2,70% com superfície específica superior a $11.000\ cm^2/100\ g$, ou seja, classificadas como salinas, para areias descarregadas hidraulicamente em tremonha, com água de descarregamento com teor de 20% de Cl^{-1} .

Logo, mais de 90% das areias analisadas da localidade estudada podem ser classificadas como não salinas, quando de uma exploração industrial por dragagem com descarregamento hidráulico em terra e escorrimento em tremonha, sendo utilizáveis para a fabricação de qualquer tipo de concreto, armado ou não, desde que esteja de acordo com as demais especificações normalizadas. O mapa da Figura 6 indica, de acordo com superfície específica, as áreas indicadas para exploração com base somente no teor em íons cloro das areias.

Boutmin (1986) afirma, ainda, para areias descarregadas hidráulicamente em tremonha que:

- $S_d < 6.700 \text{ cm}^2/100 \text{ g}$, não é necessário medir a salinidade das águas de descarregamento, caso em que estão incluídas mais de 90% das amostras de areias marinhas analisadas neste trabalho;

- $6.700 > S_d < 11.000 \text{ cm}^2/100 \text{ g}$, a salinidade pode ser negligenciável, caso o material seja destinado exclusivamente à fabricação de concreto não armado e argamassas;

- $S_d > 11.000 \text{ cm}^2/100 \text{ g}$, é necessário sempre a medida da salinidade das águas de descarregamento.

No caso de uma exploração por dragagem com descarregamento hidráulico em baía, será necessário multiplicar por 1,6 os valores das superfícies específicas calculadas, o que deverá ocasionar uma diminuição para 40% das amostras analisadas classificadas como não salinas, aumentando para 49,33% as classificadas como fracamente salinas e para 10,67% como salinas.

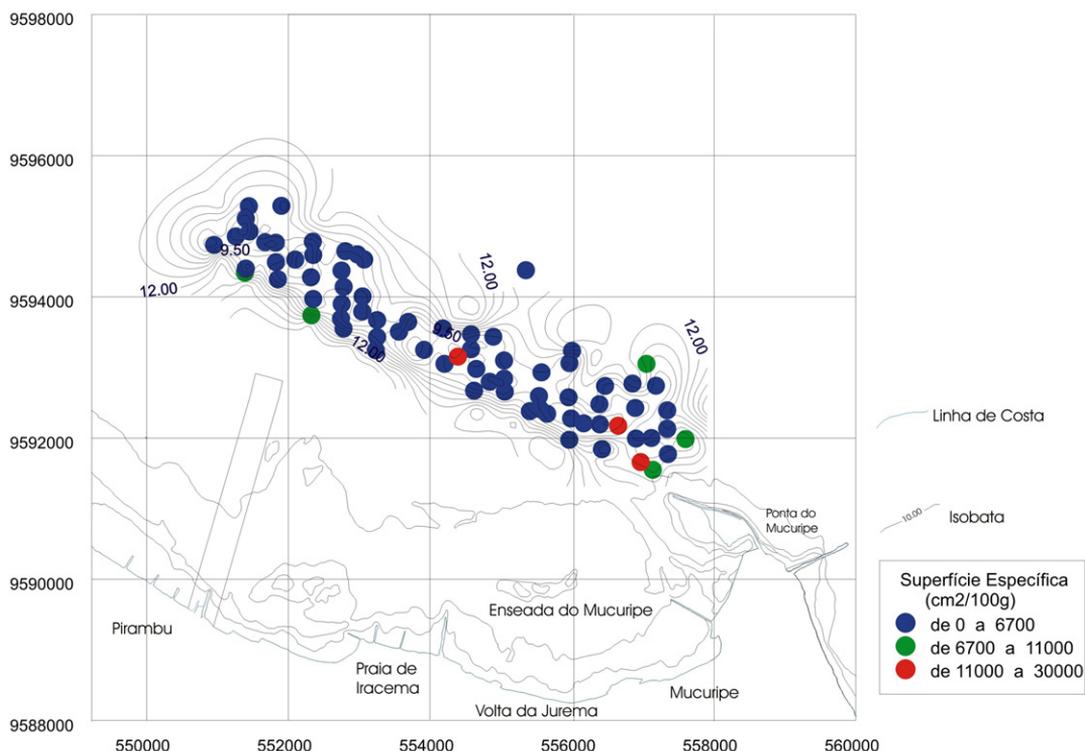


Figura 6. Mapa de distribuição dos valores de superfície específica.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Com relação à granulometria, a reatividade potencial e a presença de material pulverulento, argila em torrões, impurezas orgânicas e micas, as amostras de areias marinhas apresentaram resultados bastante satisfatórios;

- Menos de 19% das amostras de areias marinhas analisadas apresentaram teores de CaCO_3 inferiores a 30%, sendo necessário um

peneiramento a 4 mm das amostras e ensaios com corpos de prova para comprovar se essas areias são ou não adequadas para utilização na fabricação do concreto.

- Os estudos realizados demonstram que é possível prever a quantidade de sal residual, expresso em íons cloro de uma areia marinha, desembarcada em terra por descarregamento hidráulico, baseando-se apenas na superfície específica, obtida através da

granulometria, e na salinidade das águas de descarregamento.

- Com relação à presença de sais, verificou-se que mais de 90% das areias marinhas estudadas apresentaram superfície específica inferior a 6.700 cm²/100 g, sendo classificadas como não salinas, para descarregamento hidráulico em tremonha, ou seja, podem ser utilizadas na fabricação de argamassas e de qualquer tipo de concreto armado ou não.

- Muito embora as areias marinhas da área estudada estejam dentro das especificações previstas na NBR 7211 e a presença de cloretos não seja um problema, já que mais de 90% das areias foram classificadas como não salinas, a presença de CaCO₃ pode vir a inviabilizar sua exploração, sendo recomendado um estudo mais aprofundado quanto a esta questão, sugerido-se a modificação, inclusive, do método de análise de determinação do teor de CaCO₃.

- As areias com superfície específica inferior a 6.700 cm²/100 g, quando descarregadas hidraulicamente em tremonha, apresentam teores de íons cloro inferiores a 0,21%, não constituindo problema para a fabricação do concreto. Logo, como em paleovales as areias marinhas apresentam as mesmas características daquelas de origem fluvial exploradas no continente, recomenda-se que seja realizada prospecção geofísica, na região que vai da atual linha de costa até o último nível de estabilização, entre as isóbatas de 23 e 35 m, visando a descoberta de paleovales soterrados na plataforma continental do Ceará.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. 1977. **Document Technique Unifié n° 21.4 - Prescriptions techniques concernant l'utilisation du chlorure de calcium, dans la confection des coulis, mortiers et bétons.**

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. 1983. **NF P 18-301 - Granulats. Granulats naturels pour bétons hydrauliques.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1978. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto: procedimento.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1987. **NBR 7217 - Determinação da composição granulométrica dos agregados.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1987. **NBR 7218 - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1987. **NBR 7219 - Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1987. **NBR 7220 - Avaliação das impurezas orgânicas das areias para concreto.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1987. **NBR 9774 - Agregado - Verificação da reatividade potencial pelo método químico.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1987. **NBR 9917 - Agregados para concreto - Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis.**

AUGRIS, C. & CRESSARD, A.P. 1984. **Les granulats marins.** Paris, CNEXO, 89p. (Rapports scientifiques et techniques, 51).

BOUTIMIN, G. 1986. **Dragage et exploitation des sables marins: qualité des matériaux et conséquences sur le milieu.** Nantes, 201p. Thèse de Doctorat, Université de Nantes.

BOUTMIN, G. & OTTMAN, F. 1988. Détermination théorique des teneurs en sels résiduels dans les sables marins déchargés par refoulement hydraulique. **Bull.Liaison Labo. P. et Ch., 157:29-37.**

RUBAUD, M. & BONNET, D. 1982. **Détermination des teneurs en chlorures libres des solutions interstitielles de différents ciments. Influence sur la corrosion des armatures d'acier.** Grenoble, CSTB.