

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/606

## Caracterização Geotécnica da Areia de Arraial do Cabo

Bruno Teixeira Lima

Professor Adjunto, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Departamento de Estruturas e Fundações, Rio de Janeiro, Universidade Federal Fluminense – UFF, Departamento de Engenharia Civil, Niterói, Brasil, bruno.lima@eng.uerj.br

Douglas de Jesus Pereira

Engenheiro Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, dougaledavi@gmail.com

Vagner Pessoa e Silva Filho

Engenheiro Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, vagnerpsf@gmail.com

**RESUMO:** Com objetivo de contribuir na determinação das propriedades geotécnicas de areias do litoral do Estado do Rio de Janeiro este trabalho caracterizou a areia do município de Arraial do Cabo-RJ, referente a Praia dos Anjos. A fim conhecer o comportamento do solo em relação a resistência ao cisalhamento, permeabilidade e compressibilidade realizou-se ensaios de permeabilidade em carga constante e ensaios de cisalhamento direto nas compacidades relativas (CR), muito fofa, fofa, mediamente compacta e compacta, sob tensões normais de 50 kPa a 500 kPa. Para exemplificar a aplicação dos dados geotécnicos coletados em obras de engenharia civil, determinou-se os coeficientes de reação horizontal do solo, em um projeto de ampliação do Porto do Forno, situado no local. A areia da Praia dos Anjos (Arraial do Cabo-RJ) foi caracterizada como fina, mal graduada e uniforme, constituída por grãos de quartzo ( $G_s=2,708$ ) subangulares e arredondados, com  $e_{\min}=0,463$  e  $e_{\max}=0,885$ . O ângulo de atrito a volume constante mostrou-se entre  $31,4^\circ$  e  $39,8^\circ$  e o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) variou entre  $2,8 \times 10^{-3}$  cm/s e  $3,0 \times 10^{-3}$  cm/s.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resistência ao Cisalhamento; Permeabilidade; Arraial do Cabo; Porto do Forno; Praia dos Anjos.

**ABSTRACT:** With the aim of contributing to the determination of the geotechnical properties of sand from the coast of the State of Rio de Janeiro, this work characterized the sand from the municipality of Arraial do Cabo-RJ referring to Praia dos Anjos. In order to know the behavior of the soil in relation to shear resistance, permeability and compressibility, permeability tests were carried out at constant load and direct shear tests at relative compactness (CR), very soft, soft, medium compact and compact, under stresses normal ranges from 50 kPa to 500 kPa. To exemplify the application of geotechnical data collected in civil engineering works, the horizontal soil reaction coefficients were determined in a project to expand Porto do Forno, located at the site. The sand at Praia dos Anjos (Arraial do Cabo-RJ) was characterized as fine, poorly graded and uniform, consisting of subangular and rounded quartz grains ( $G_s=2.708$ ), with  $e_{\min}=0.463$  and  $e_{\max}=0.885$ . The friction angle at constant volume was between  $31.4^\circ$  and  $39.8^\circ$  and the permeability coefficient ( $k$ ) varied between  $2.8 \times 10^{-3}$  cm/s and  $3.0 \times 10^{-3}$  cm/s.

**KEYWORDS:** Shear strength; Permeability; Sands; Laboratory Tests.

## 1 INTRODUÇÃO

O trabalho objetivou a caracterização geotécnica e resistência ao cisalhamento de uma areia da Praia dos Anjos localizado em Arraial do Cabo, sendo a influência da areia estudada em diferentes compacidades.

A literatura técnica nacional é carente de dados de solos arenosos, ainda mais os que tem domínio de dunas que se limitam a região litorânea, podendo estes conter características únicas. Por isso esta pesquisa se presta num programa de pesquisa da caracterização geotécnica de solos arenosos litorâneos fluminenses.

A escolha da Praia dos Anjos (Figura 1) como alvo, levou em consideração a sua relevância local devido sua densidade habitacional, intensidade turística e presença de estruturas como o Cais da Praia dos Anjos e o

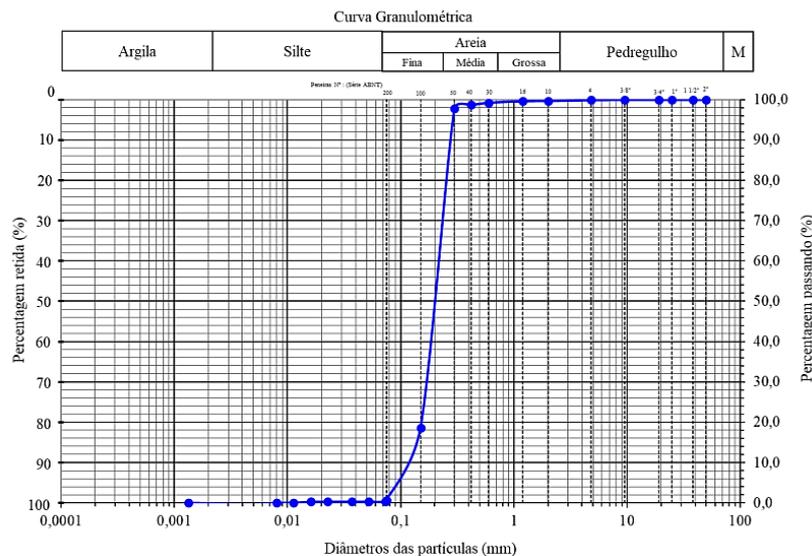
Porto de Arraial do Cabo. Além disso, o local acolhe instituições como o Museu Oceanográfico da Marinha do Brasil e o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira com foco regional.



Figura 1. Praia dos Anjos (Google Earth)

## 2 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

A curva granulométrica da amostra de Arraial do Cabo (Figura 2) foi extraída através de ensaios de peneiramento e sedimentação, através desta informação foi determinado o coeficiente de não uniformidade,  $CNU = 1,69$  e curvatura,  $CC = 1,13$ . Diante disto classificada como areia uniforme. Percebe-se alguns diâmetros de interesse como  $D_{10} = 0,13$  mm,  $D_{30} = 0,18$  mm e  $D_{60} = 0,22$ mm.



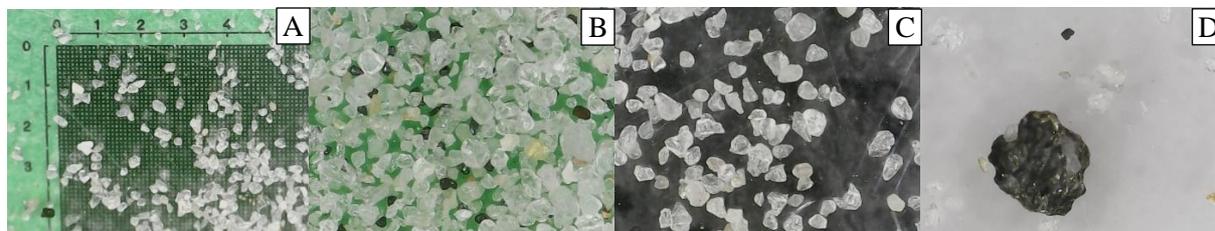


Figura 3. Fotografia da areia de Arraial do Cabo obtida por microscópio digital portátil. A - Areia com aumento equivalente a 20x; B - Areia com aumento equivalente a 40x em fundo verde; C - Areia com aumento equivalente a 40x em fundo preto; D - Mineral máfico com aumento equivalente a 60x. (Autor)

Para alcançar o índice de vazios mínimo de forma imediata foram realizados os procedimentos da norma NBR 16843 (ABNT, 2020), assumindo o método B.1, com isto alcançou  $e = 0,588$ , entretanto valores menores foram revelados pela pluviação ao ar sobre peneiras em abertura de funil de 5 mm, sendo este  $e = 0,573$ . Ademais, índices inferiores a estes foram verificados na caixa de cisalhamento após aplicação da carga, sendo este o menor com módulo, captando  $e = 0,430$ .

O índice de vazios máximos foi estudado para este solo por quatro diferentes metodologias, posto isto pela norma NBR 16840 (ABNT, 2020), culminou em valores iguais de índices de vazios igual a 0,843, tanto para o método A e o B, refletindo boa repetibilidade devido ao pequeno desvio padrão para esta areia. No método de Kolbuszewski (1948), usando diâmetro de 100 mm de abertura, obteve-se 0,859, contudo a pluviação ao ar sobre peneiras limitou-se abertura de funil de 80 mm, correspondendo a 0,837 em seu índice físico.

### 3 COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A areia de Arraial do Cabo foi estudada em diferentes compacidades, entretanto coletar amostra indeformada do solo é complexo, por este não apresentar coesão, logo as condições locais tornam-se mais complexo de ser determinado.

Para obter diferentes densidades dos corpos de prova para o cisalhamento utilizou-se a pluviação ao ar sobre peneiras, concebido por Miura e Toki (1982). O emprego de 5 peneiras se deu na seguinte ordem: #4 (4,75mm), 3/8# (9,5 mm), 3/4" (19,0 mm), 3/4" (19,0 mm) e 3/8# (9,5 mm), com nove aberturas de funis (5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm e 80 mm). Os dados foram representados na Figura 4, em um gráfico Índice de Vazios Intermediários X Diâmetro de abertura, ficando claro o crescimento linear até abertura de 40 mm seguido por uma tendência de lateralização.

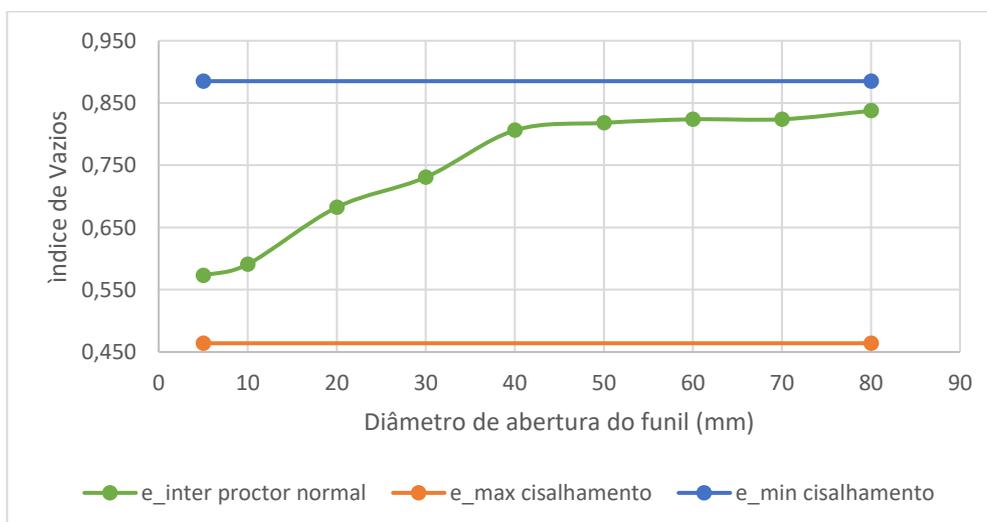


Figura 4. Variação dos índices de vazios intermediários de acordo com a abertura do funil no ensaio de pluviação sobre peneiras

A análise dos índices foi feita em corpos cilíndricos de 100 cm<sup>3</sup> com colarinho removível. A altura de queda do método de Kolbuszewski foi de 60 cm e das peneiras foi de 30 cm. A realização da abertura de funil se restringiu a 80 cm, pois acima deste valor o material acumulava-se nas peneiras, rompendo assim a concepção de fluxo constante.

Apesar da aparente facilidade de moldagem dos corpos de prova, conforme a diminuição dos índices de vazios na caixa de cisalhamento, maior se tornava a dificuldade de repetibilidade da compactação. Os corpos de prova com menor desvio padrão nas massas são os que apresentaram menor compactação relativa.

#### 4 CISALHAMENTO DIRETO

Os ensaios de cisalhamento direto aplicados à areia de Arraial do Cabo consideraram quatro domínios de compactação relativa (CR), tendo em vista os índices de vazios iniciais das amostras, classificadas como: Muito fofa (MO), fofa (FO), medianamente compacta (MC) e compacta (CO) (Tabela 1). Para cada domínio de compactação foram realizados quatro ensaios com níveis diferentes de tensões normais nominais (50 kPa, 150 kPa, 300 kPa e 500 kPa), totalizando 16 ensaios de cisalhamento direto. Todos os ensaios tiveram deslocamento de aproximadamente 20 mm com velocidade de deslocamento horizontal igual 0,13 mm/min.

Tabela 1. Valores médios de acordo com a denominação

Denominação das areias segundo a compactação relativa	$e_{0, \text{médio}}^*$	$CR_{0, \text{médio}}^*$	$e_{a, \text{médio}}^{**}$	$CR_{a, \text{médio}}^{**}$
Muito fofa	0,811	17,5%	0,735	35,5%
Fofa	0,687	47,1%	0,623	61,1%
Medianamente compacta	0,632	60,0%	0,584	70,7%
Compacta	0,565	75,9%	0,519	85,5%

\* $e_{0, \text{médio}}$  e  $CR_{0, \text{médio}}$  Compactação Relativa inicial média e Índice de vazios inicial médio na moldagem.

\*\* $e_{a, \text{médio}}$  e  $CR_{a, \text{médio}}$  Índice de vazios médio e Compactação Relativa média após aplicação carga vertical.

Na Figura 8 em 50 kPa, observa-se um patamar lateralizado, mais proeminente na curva (FO), apesar de a curva MF apresentar  $CR_0$  de 0,43, inferior ao 0,50 da amostra FO. A amostra compacta (CO) submetidas a 50 kPa não apresentou degrau, indicando uma maior probabilidade de ocorrência desse fenômeno em amostras mais fofas.

As amostras de 50 kPa apresentaram ângulo de dilatância na amostra Muito Fofa (MF) de 4,4°, enquanto que a Compacta (CO) obteve-se 7,7°. As amostras Fofa (FO) e Medianamente compacta (MC) não apresentaram picos tão significativos.

Os ensaios de 50 kPa apresentaram singularidades, seguida de expansão, sendo este registro uma indicação de tendência anômala que deverá ser pesquisada para compreender sua origem, mesmo que origem dos grãos seja conhecida, ou seja, proveniente de dunas e região litorânea, produzindo um excessivo polimento dos grãos.

A Envoltória de Ruptura representada na Figura 9 para o domínio de CR muito fofa apresentou constância do ângulo de atrito interno (29° a 30°) para as tensões de 150 kPa, 300 kPa e 500 kPa, sem ocorrência de picos de resistência e patamar constante. Para o ensaio referente a 50 kPa, a curva  $\tau/\sigma \times \delta h$  indicou presença de pico de resistência, atingindo ângulo de atrito interno efetivo de 39,8°. A envoltória de ruptura para o domínio de CR compacta apresentou ângulo de atrito interno na faixa de 34° a 40°, demonstrando-se a influência da compactação no ângulo de atrito para esta amostra. O ângulo de atrito efetivo variou de em sua menor compactação de 29,4° até 36,8° na sua maior compactação.

O patamar inicial observado nas curvas curva tensão cisalhante ( $\tau$ ) sobre tensão normal ( $\sigma$ ), em magnitudes muito pequenas da deformação vertical ( $\epsilon_v$ ), principalmente em níveis de tensão menores, podem ser explicados pela acomodação inicial da amostra, ou efeito de rolagem dos grãos ou atrito do sistema. Se faz necessário mais estudos para um melhor entendimento do fenômeno

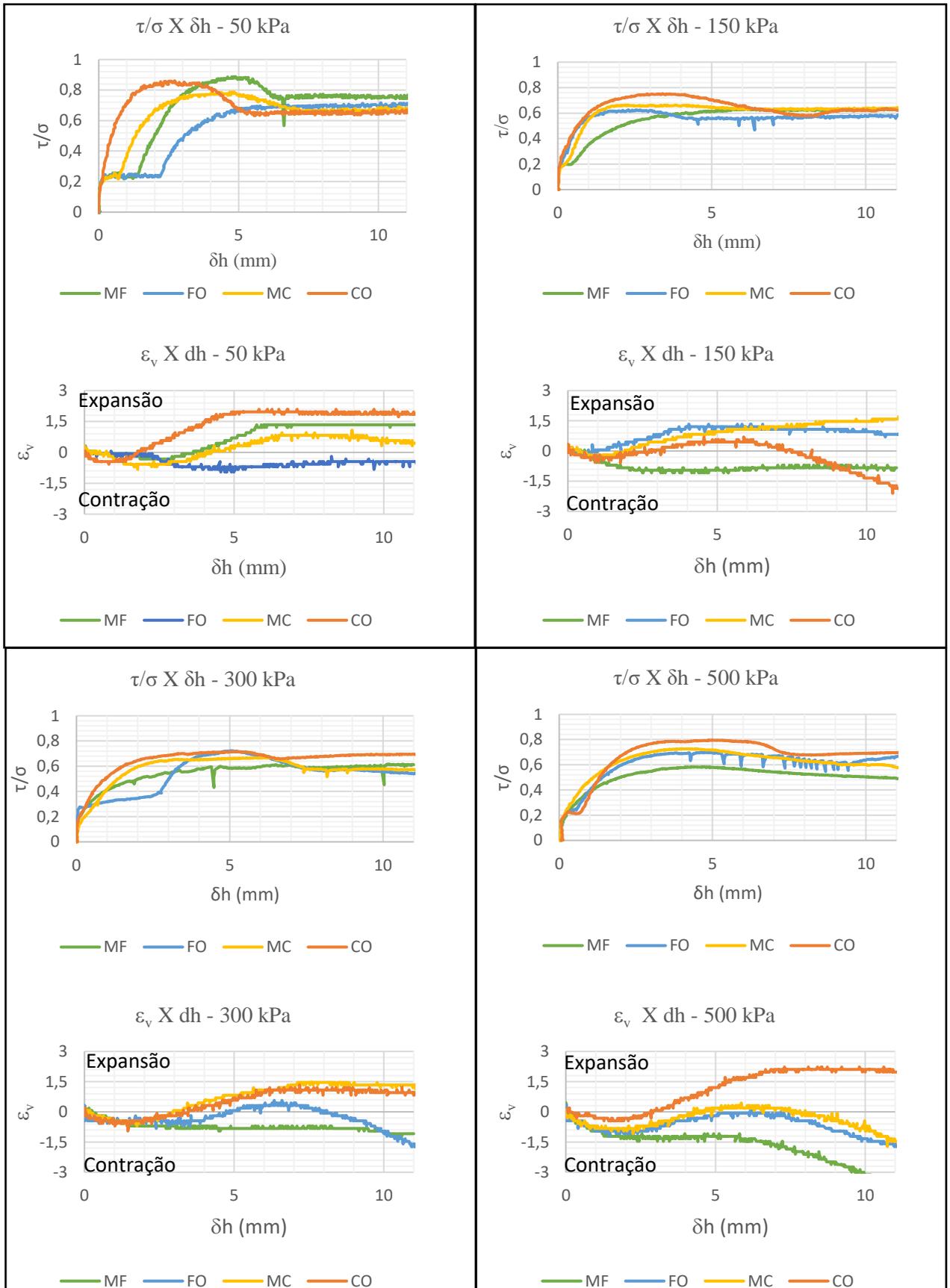


Figura 8. Ensaios de cisalhamento direto agrupando por tensão normal nominal aplicada

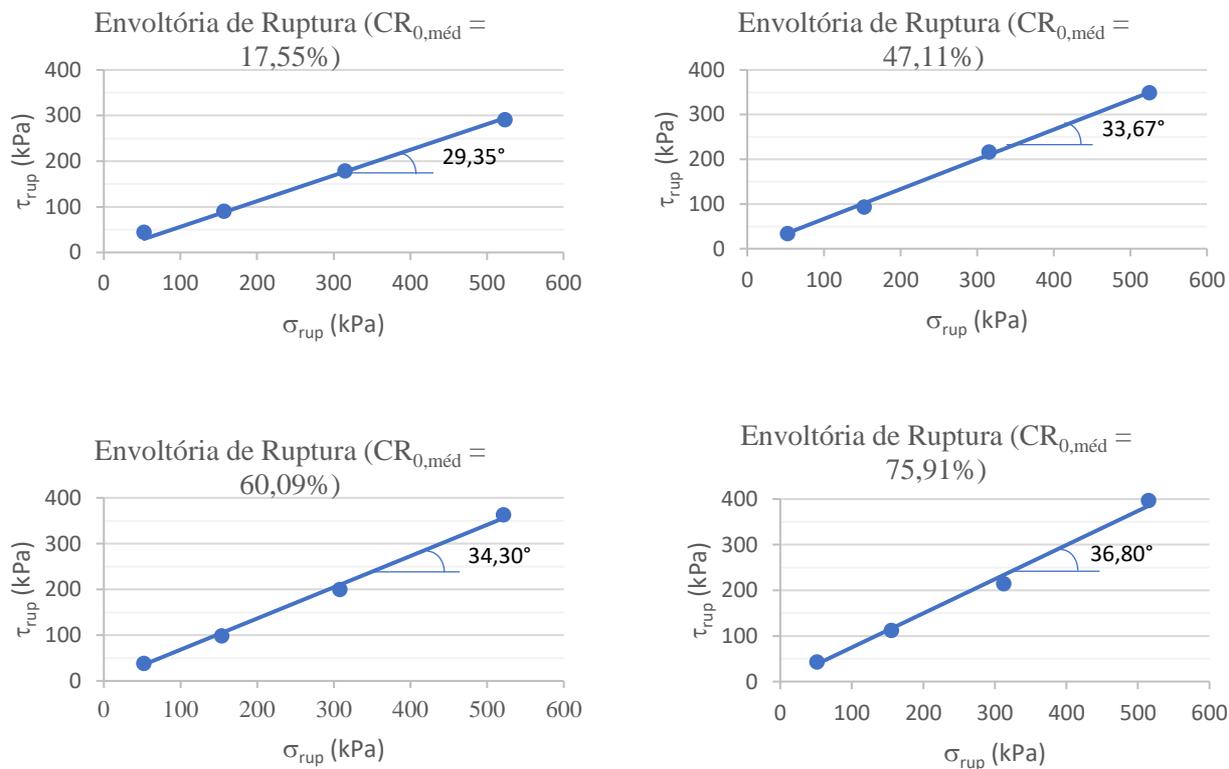


Figura 9. Envolvória de Ruptura para os domínios de compactação relativa

O traçado na Figura 10 constitui a curva “índice de vazios críticos ( $e_{cr}$ ) versus tensão normal crítica ( $\sigma_n$ )”, delineando por interpolação logarítmica dos pontos de 150 kPa, 300 kPa e 500 kPa, dividiu-se a área de plotagem em duas regiões. A área situada acima da curva indica comportamento contrátil, entretanto se a combinação ( $e_a$ ;  $\sigma_n$ ) estiver abaixo da curva o comportamento do solo será dilatante.

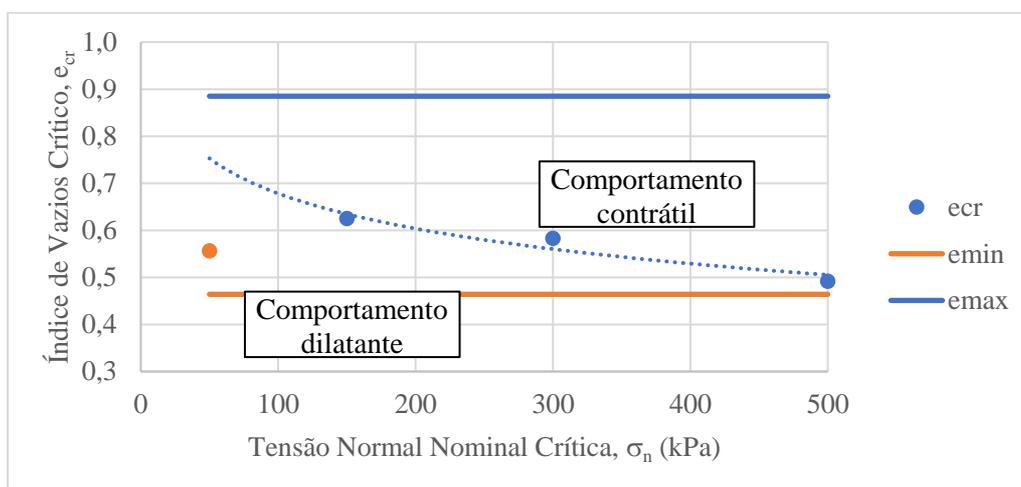


Figura 10. Curva “índice de vazios crítico x tensão normal nominal crítica”

Para o traçado da curva crítica, que relaciona “índice de vazios crítico versus tensão normal nominal crítica” foi aplicada a metodologia apontada por Pinto (2006), adaptada para os resultados obtidos em ensaios de cisalhamento direto. Para cada nível de tensão normal foi obtido o valor de índice de vazios crítico, para o

qual ocorre variação nula no volume do corpo de prova deformação vertical relativa ( $\varepsilon_v = 0$ ).

As amostras com tensão normal nominal ( $\sigma_n$ ) de 50 kPa apresentaram comportamento anômalo, com índice de vazios crítico inferior ao esperado, por isto não foi considerado na definição da curva crítica. Devido a singularidade destas amostras durante o cisalhamento é importante a realização de mais estudos em tensões abaixo de 150 kPa para um melhor estudo dos fenômenos expostos neste artigo.

## 5 PERMEABILIDADE

Foram realizados quatro ensaios de permeabilidade com corpos de provas de diferentes compacidades relativas (CR de 12,2%, 31,2%, 50,5% e 72,2%). Os resultados coletados (Tabela 2) demonstraram pouca variação de permeabilidade, enquadrando-se dentro dos valores típicos de uma areia fina, conforme determinado por Souza Pinto (2006), ocorrendo tendência de aumento de coeficiente de permeabilidade para amostras com maior índice de vazios.

Tabela 2. Valores médios de acordo com a denominação

Denominação das areias segundo a compactidade relativa	$e_0$	CR	$e^3/(1+e)$	k (m/s)
Muito fofa	0,834	12,1%	0,316	3,02E-05
Fofa	0,753	31,2%	0,244	2,90E-05
Medianamente compacta	0,672	50,5%	0,181	3,44E-05
Compacta	0,580	72,2%	0.124	2,79E-03

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 16840 - Solo — Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos. ABNT. [S.l.]. 2020.

ABNT. NBR 16843 - Solo — Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos. ABNT. [S.l.]. 2020.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. Soil Mechanics. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1969. LEE, K. L.; SEED, H. B. Drained Strength Characteristics of Sands. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 93, No. SM6. [S.l.], p. 117-141. 1967.

KRUMBEIN, W. C.; SLOSS, L. L. Stratigraphy and Sedimentation. 2ª. ed. San Francisco: Freeman and Company, 1963.

MONTEIRO, D. P. Caracterização Geotécnica das Areias do Porto do Açú. Dissertação (a ser defendida - Mestrado em Engenharia Civil - Geotecnia). Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PGECIV, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, p. 222. 2023.

PINTO, C. D. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SILVA FILHO, VAGNER PESSOA. Caracterização geotécnica e resistência ao cisalhamento da areia de Arraial do Cabo para utilização em obras de engenharia

TAYLOR, D. W. Fundamental of Soil Mechanics. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1948.