

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/cm ³)
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).

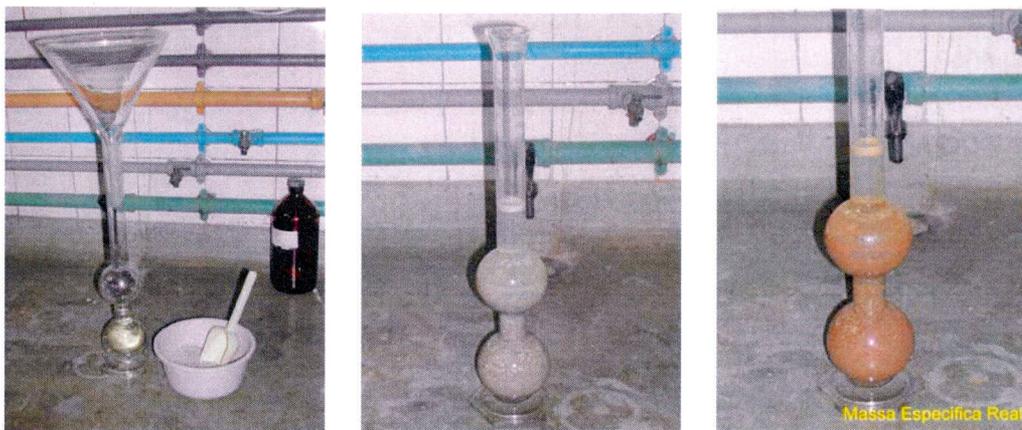


Figura 7.1 – Fotos das etapas inicial (à esquerda) e final das análises para determinação da massa específica real das amostras de areia branca (ao centro) e amarela (à direita).

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%	0,67
163	Amarela	30,0000	28,6366	28,5184	4,55%	0,41%	
162	Amarela	-	30,0062 *	29,8725	-	0,45%	
167	Branca	30,0000	28,6719	28,5852	4,43%	0,30%	0,34
182	Branca	30,0000	28,4943	28,4006	5,02%	0,33%	
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.

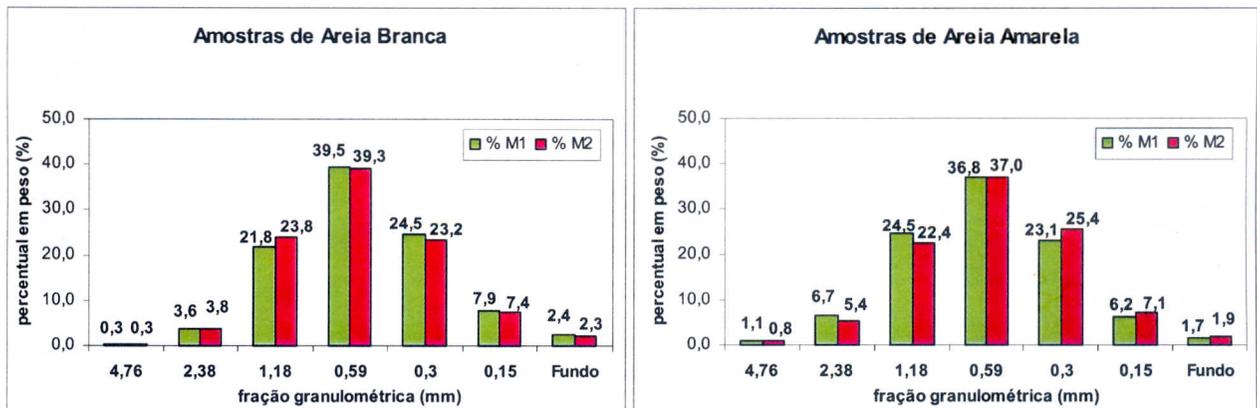


Figura 7.3 – Histogramas obtidos nos ensaios para determinação granulométrica utilizando a série normal de peneiras para agregados miúdos e graúdos para concreto.

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

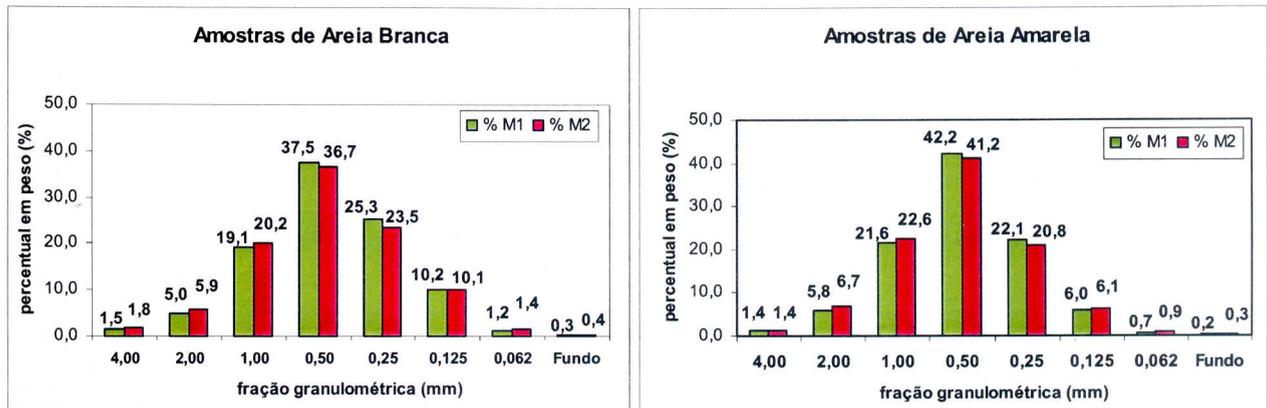


Figura 7.7 – Histogramas obtidos nos ensaios para determinação granulométrica utilizando uma série de peneiras baseada na classificação granulométrica de Udden-Wentworth para sedimentos clásticos.

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%.

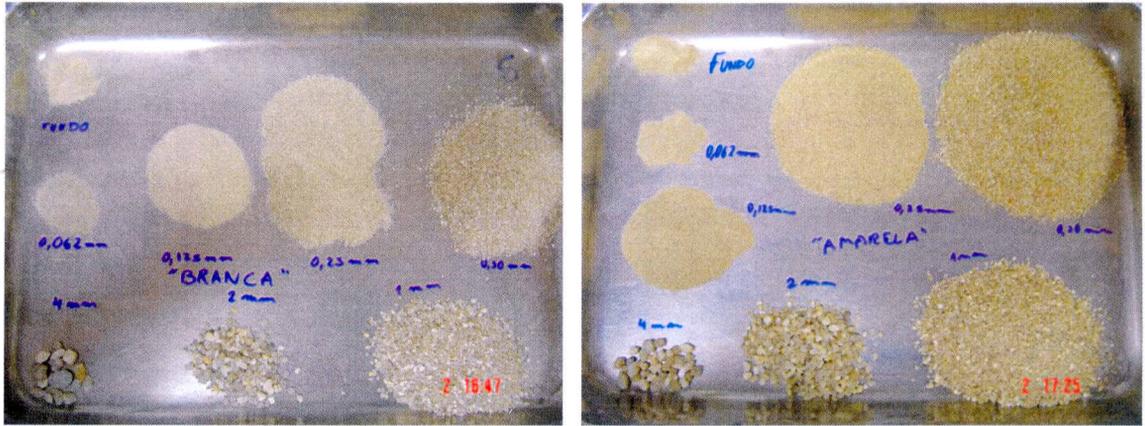


Figura 7.8 – Frações granulométricas das areias branca e amarela, separadas nos ensaios para determinação granulométrica utilizando a série de peneiras baseada na classificação granulométrica de Udden-Wentworth para sedimentos clásticos.

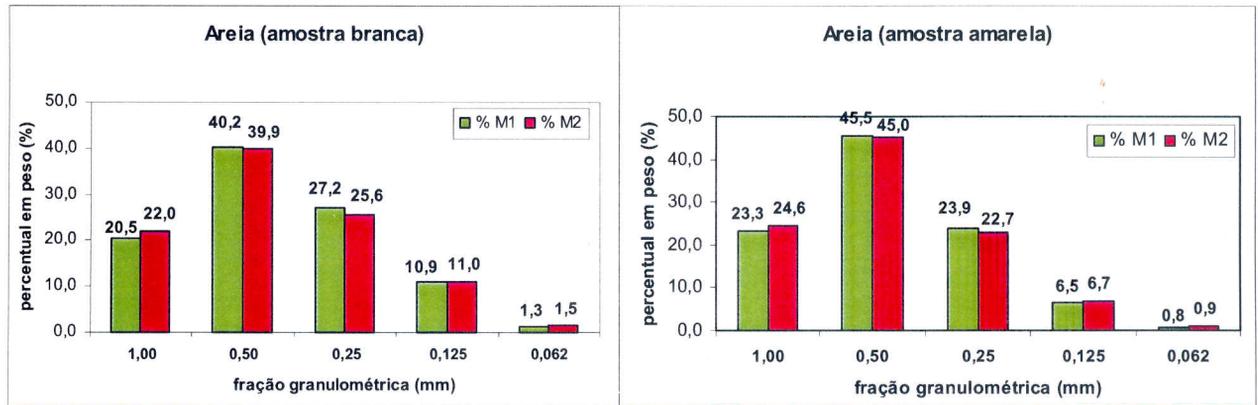


Figura 7.9 – Histogramas de distribuição granulométrica para as frações classificadas como "areia", englobando as variações muito grossa (-2mm +1mm), grossa (-1 mm +0,5mm), média (-0,5 mm +0,25mm), fina (-0,25mm +0,125mm) e muito fina (-0,125mm +0,062mm).

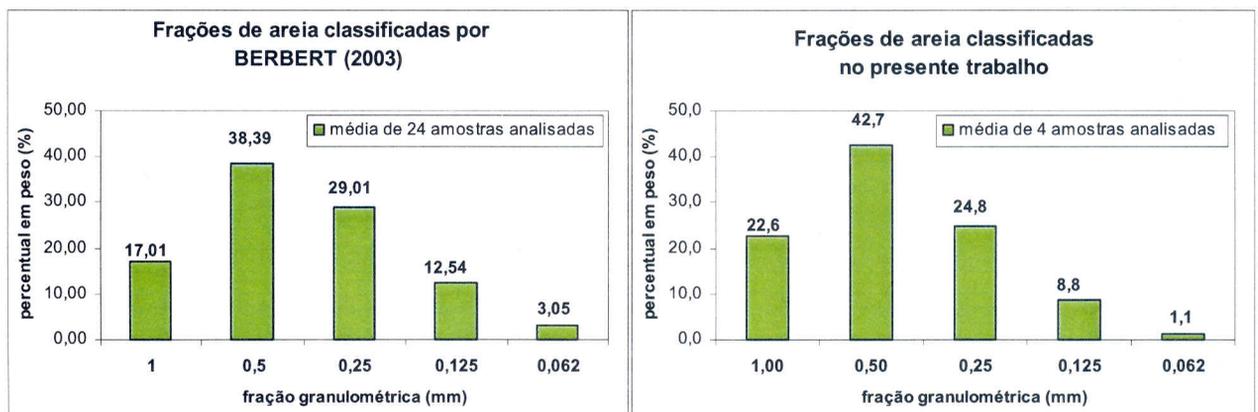


Figura 7.10 – Histogramas da distribuição granulométrica média para as frações classificadas como "areia", englobando as variações muito grossa (-2mm +1mm), grossa (-1 mm +0,5mm), média (-0,5 mm +0,25mm), fina (-0,25mm +0,125mm) e muito fina (-0,125mm +0,062mm), mostrando à esquerda,

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.

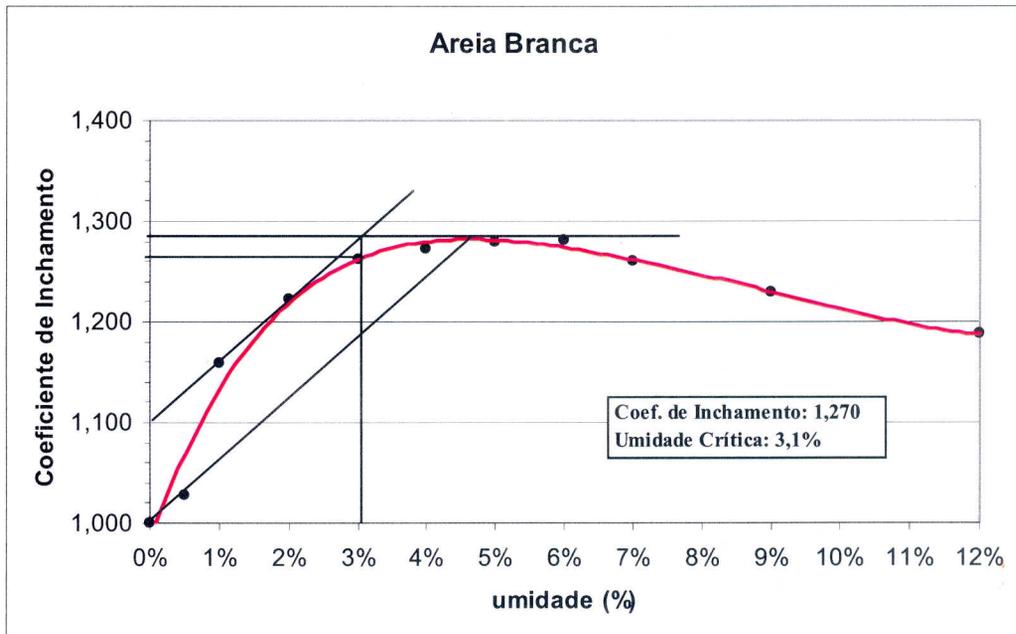


Figura 7.11 – Curva de inchamento da areia branca empregada para a determinação do seu coeficiente de inchamento e da respectiva umidade crítica.

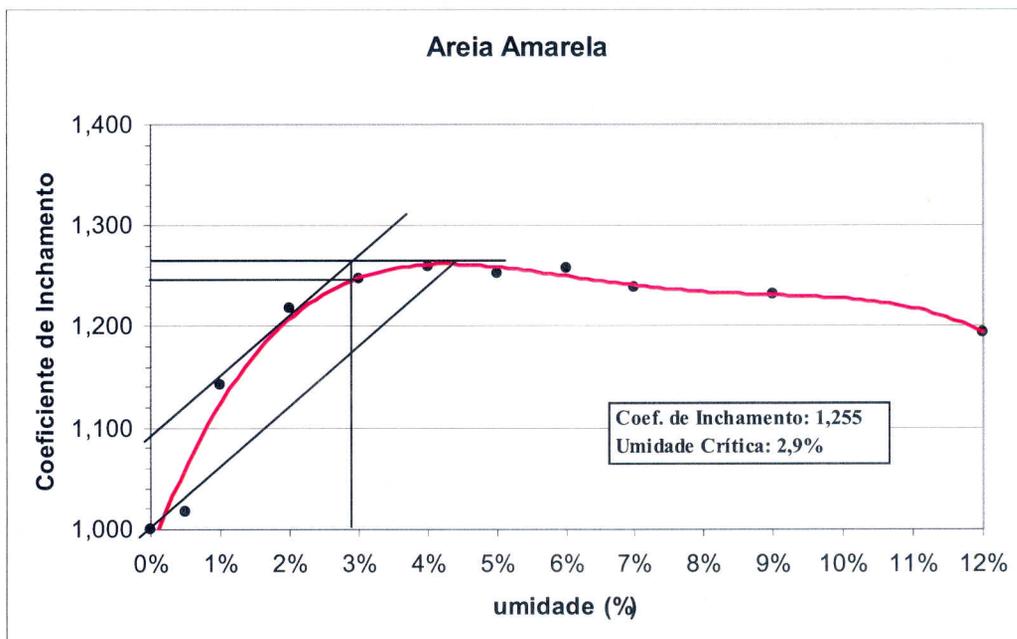


Figura 7.12 – Gráfico da curva de inchamento para a areia amarela para determinação do coeficiente de inchamento e da umidade crítica.

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 abcissas 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.

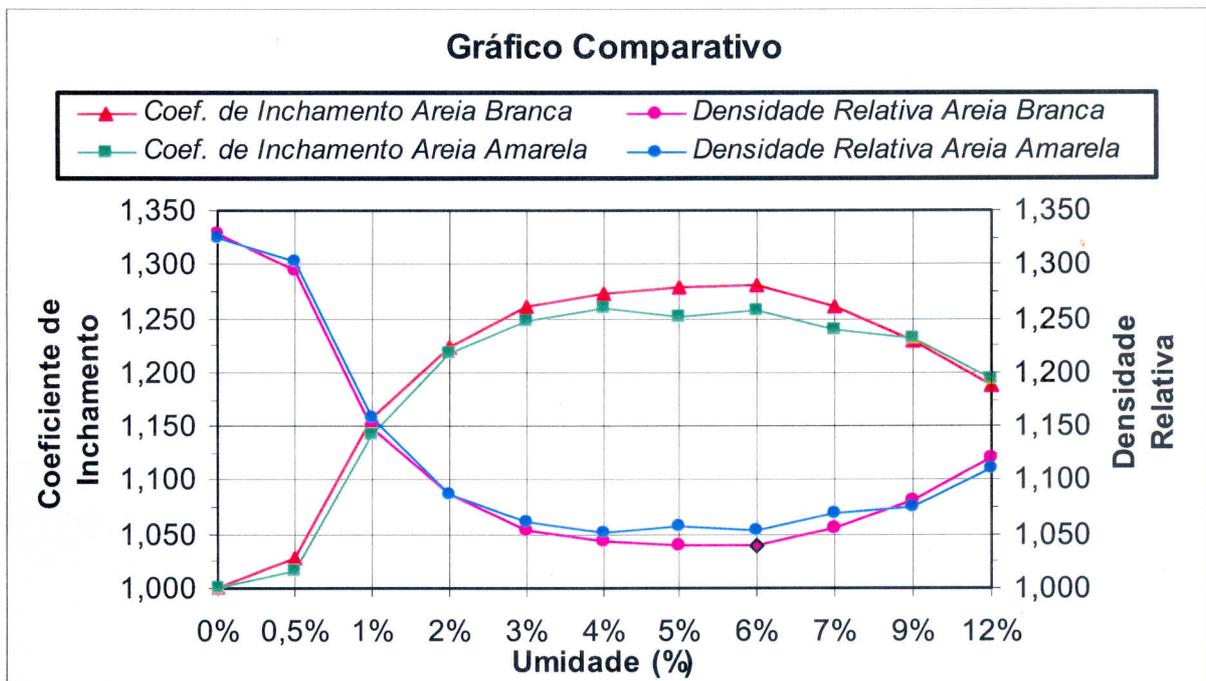


Figura 7.13 – Comparação da influência da umidade na densidade relativa e no coeficiente de inchamento das amostras de areia.

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 conseqüentemente 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 conseqüentemente 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, conseqüentemente, 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.

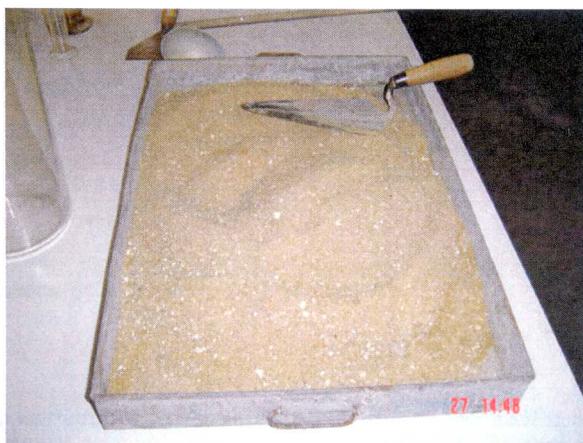


Figura 7.15 – Foto comparativa de amostras de areia amarela dispostas numa fôrma, no início (0% de umidade), à esquerda, e no final da análise (12% de umidade), à direita.

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-Itaguái, RJ obtidos por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

COMPOSIÇÃO QUÍMICA		
AREIA	BRANCA	AMARELA
SiO ₂	91,00%	91,35%
Al ₂ O ₃	4,29%	4,00%
Fe ₂ O ₃	2,19%	2,27%
K ₂ O	2,08%	2,08%
TiO ₂	0,25%	-
Cr ₂ O ₃	0,12%	0,17%
NiO	0,08%	0,12%
CaO	-	-
SO ₃	-	-
Na ₂ O	-	-
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 frequência 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.