

5

Caracterizações Física, Química e Mineralógica.

Neste capítulo são apresentados os ensaios realizados nas amostras dos solos descritos no capítulo anterior, necessários para sua caracterização física, mineralógica e química.

5.1.

Características Físicas

5.1.1.

Índices Físicos

Para a caracterização física dos solos estudados foram feitos ensaios de granulometria, através do peneiramento e sedimentação, densidade relativa dos grãos (G_s), limites de liquidez e plasticidade. Os índices físicos obtidos de amostras de solo indeformado estão apresentados na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Índices físicos das amostras indeformadas.

Amostra	Valor	G_s	γ_n (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	w_{real} (%)	e	S (%)
Residual Jovem	Máx.	-	1.63	1.28	27.85	1.30	0.66
	Min.	-	1.48	1.20	22.01	1.15	0.48
	Méd.	2.76	1.55	1.25	23.74	1.20	0.55
Coluvio	Máx.	-	1.66	1.35	23.38	1.19	0.62
	Min.	-	1.49	1.21	22.21	0.97	0.50
	Méd.	2.66	1.59	1.30	22.83	1.06	0.58

5.1.2.

Análise Granulométrica

Os ensaios de granulometria foram realizados seguindo a norma da ABNT, NBR7181. A tabela 5.2 apresenta as porcentagens de cada fração de material para ambos os solos. Além disso, a figura 5.1 mostra a curva granulométrica obtida por peneiramento e sedimentação.

Na fase de sedimentação, utilizou-se dois defloculantes distintos: hexametáfosfato de sódio (H) e água (A).

Tabela 5.2 – Resumo da granulometria de cada solo analisado.

Distribuição granulométrica (%)							
Solo	Areia				Finos		
	Grossa	Média	Fina	Total	Silte	Argila	Total
Residual Jovem -H	4,6	31,5	27,4	63,5	29,8	6,6	36,4
Residual Jovem-A	4,6	30,5	29,4	64,5	31,0	4,5	35,5
Colúvio -H	24,6	14,2	7,7	46,5	10,1	40,5	50,6
Colúvio-A	24,6	27,3	29	80,9	16,0	0,1	16,1

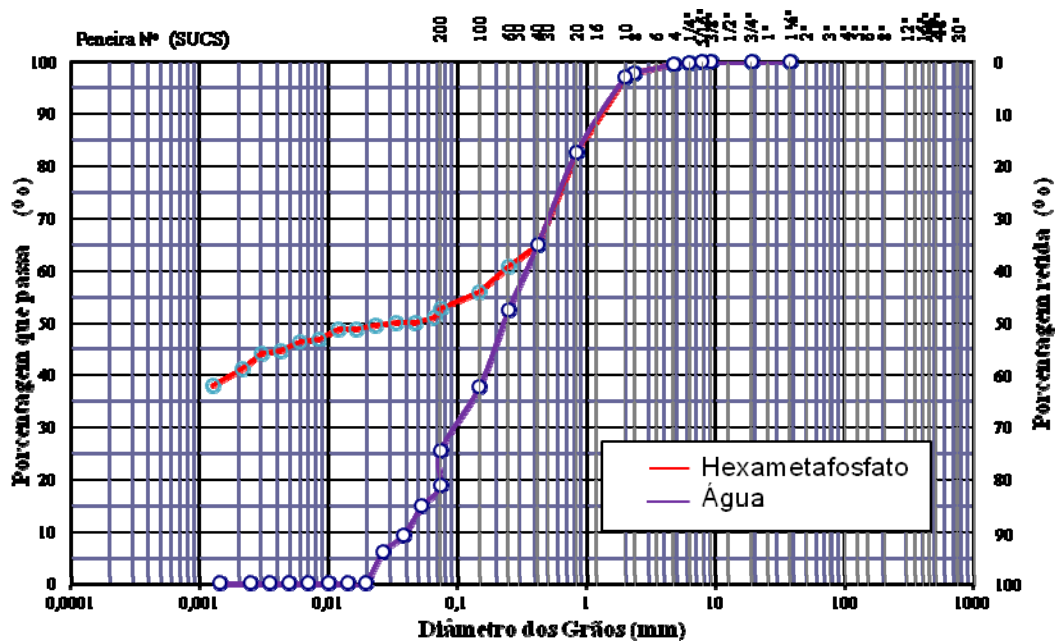


Figura 5.1 – Curvas granulométricas do solo Colúvio realizado com hexametáfosfato de sódio e água como defloculante respectivamente.

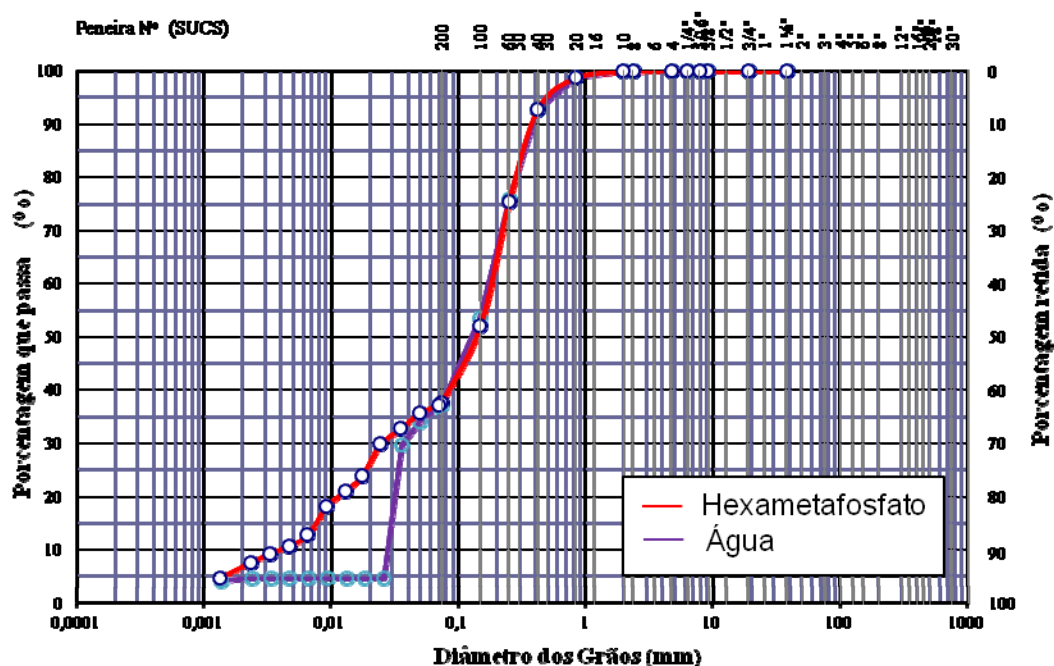


Figura 5.2 – Curvas granulométricas do solo Residual Jovem realizado com hexamefosfato de sódio e água como defloculante respectivamente.

5.1.3. Limites de Consistência

A determinação dos limites de consistência foi realizada segundo as normas NBR6459 e NBR7180 da ABNT. A tabela 5.3 apresenta os valores dos limites de liquidez, plasticidade e índice de plasticidade. Além disso, foi calculado com a expressão de Skempton 5.1 o índice de atividade das argilas:

$$Atividade = \frac{IP}{\%<2\mu m} \quad (5.1)$$

A fração argila com índice de atividade menor que 0,75 é considerada inativa, entre 1,25 e 0,75 a atividade é normal, maior que 1,25, ativa.

O solo residual jovem deste estudo não apresentou limites de consistência, tanto para a fração passante na peneira 40, como para a fração passante na 200.

Tabela 5.3 – Limites de consistência e atividade da fração argila.

Solo	LL (%)	LP(%)	IP(%)	Ia
Colúvio	64,5	35,9	28,6	0,71
Residual Jovem	---	---	---	---

Segundo os índices apresentados o Colúvio apresenta uma baixa atividade na fração argila.

5.1.4. Classificação do Solo

Através da caracterização física, o Colúvio é classificado, segundo o sistema SUCS, como uma argila de alta plasticidade (CH); enquanto que o solo residual jovem é classificado como areia com finos (SC).

5.1.5. Porosidade

A porosidade e a distribuição dos tamanhos dos poros foram determinadas mediante a porosimetria de mercúrio.

O ensaio de porosimetria de mercúrio fornece o tamanho e a distribuição dos poros. O volume de mercúrio que penetra nos poros é definido diretamente como uma função da pressão aplicada, com auxílio da equação de Washburn que supõe os poros de forma cilíndrica. A diferença de volume em cada ciclo é chamada de volume de poros livre.

Conforme a classificação proposta por IUPAC (Internacional Union Pure and Applied Chemistry), ver tabela 5.4, foi possível, através da curva de distribuição de poros, obter as parcelas de microporos, mesoporos e macroporos.

Tabela 5.4 – Classificação IUPAC (Diâmetro de Poros).

Classificação	Microporos (μm)	Mesoporos (μm)	Macroporos (μm)
IUPAC	$\emptyset < 0,2$	$0,2 < \emptyset < 0,5$	$\emptyset > 0,5$

No primeiro caso, o solo Residual apresenta uma concentração de poros dentro da faixa de macroporos mostrando uma leve homogeneidade, porém no caso do Colúvio, apresenta um comportamento bimodal, ou seja, concentração

de poros na faixa de microporos e macroporos, isto se verá refletido na curva característica.

Os resultados obtidos tanto para o solo Residual Jovem como para o Colúvio são apresentados na figura 5.3 e figura 5.4.

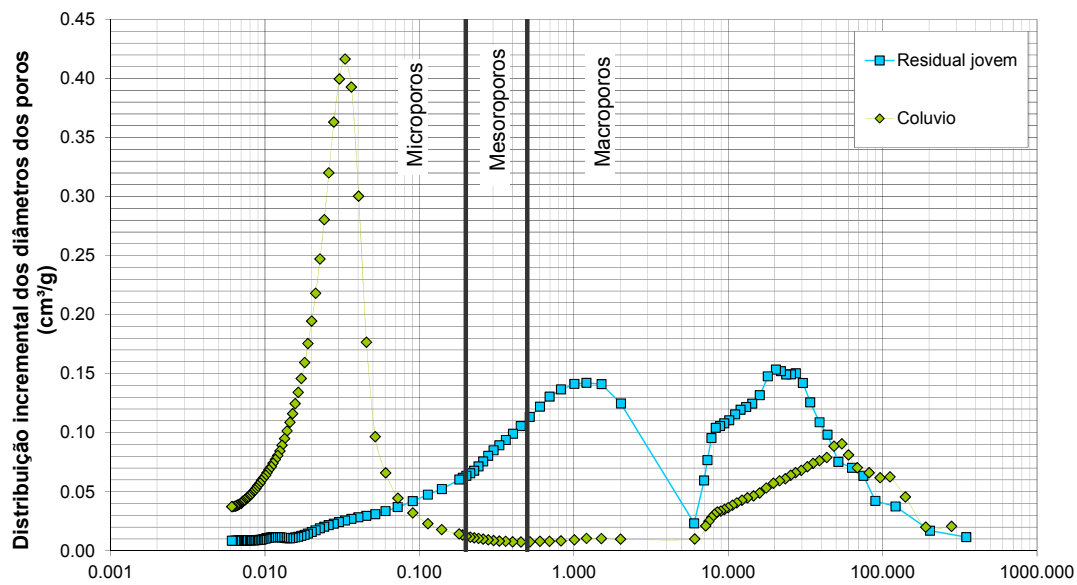


Figura 5.3 – Curvas de Distribuição de poros respeito ao tamanho dos poros.

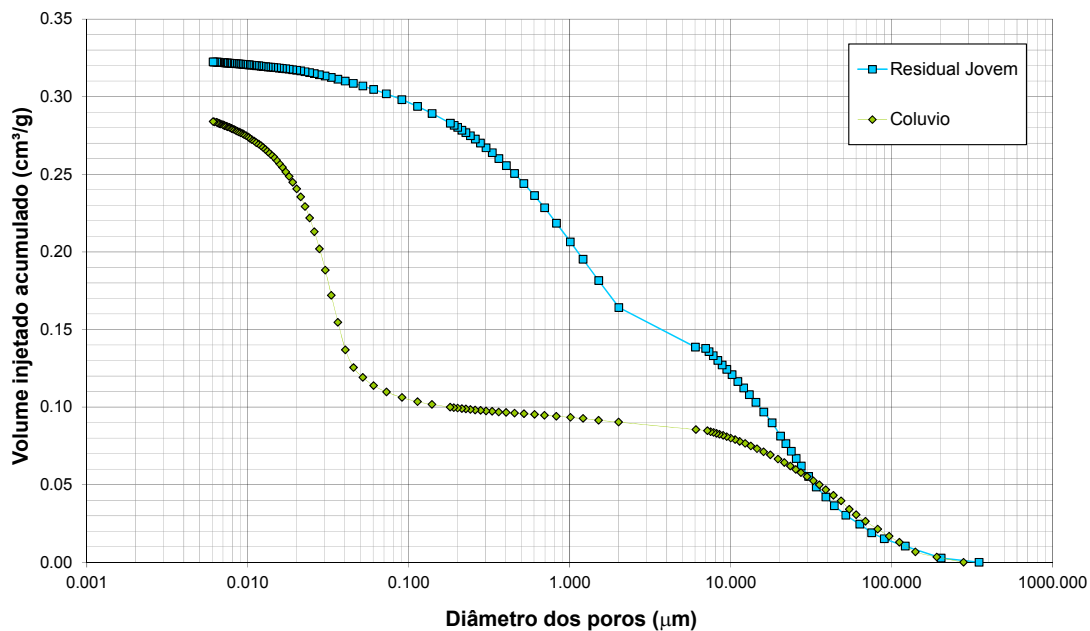


Figura 5.4 – Curvas de Distribuição Acumulado de poros ao tamanho dos poros.

5.2. Características Químicas

5.2.1. Análise Química Total

As amostras de solo foram submetidas a análise química total com o objetivo de avaliar os principais elementos que compõem a matriz do solo. A Tabela 5.5 apresenta o resumo dos elementos encontrados em cada solo.

Tabela 5.5 – Análise Química Total

Componentes	Residual Jovem	Colúvio
Al₂O₃	32,88	40,92
SiO₂	40,19	33,41
P₂O₅	0,37	0,15
K₂O	0,47	0,28
TiO₂	1,19	1,01
MnO	0,15	-
Fe₂O₃	10,67	6,72
MgO	0,72	-
ZrO₂	0,021	0,01
Perda ao fogo	6,39	12,75
Traços	S, Ca	Ca, Cr, Mn

Segundo Antunes (2013), os teores de alumina (Al₂O₃) e sílica (SiO₂), indicam um avançado estado de laterização em ambos os solos, produto da lixiviação destes componentes.

5.3. Características Mineralógicas

5.3.1. Análise Térmica Diferencial (ATD)

A técnica da análise térmica esta baseado no suposto que a água que preenche os capilares na argila apresenta um pico endotérmico. A Gibbsita perde água de constituição acerca de 350°C, o que é representado por um pico endotérmico no termograma, da mesma forma acontece na caulinita para uma temperatura aproximada de 600 °C.

Portanto, como é mostrado nas figuras 5.5 e 5.6, os picos observados correspondem a uma fração argilosa constituída por Caulinita no caso do solo Residual jovem enquanto que para o Coluvio está constituído basicamente por Gibbsita e Caulinita.

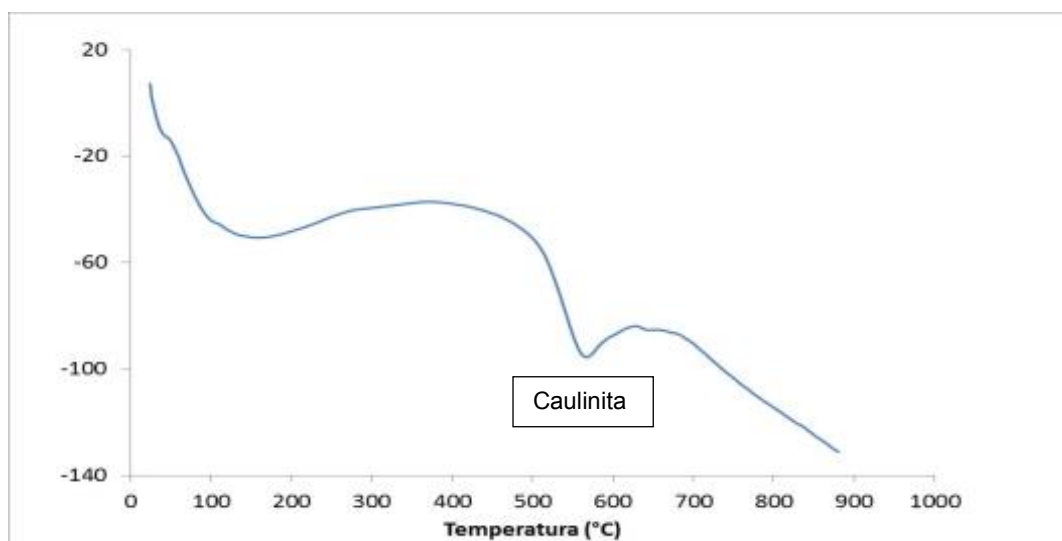


Figura 5.5 – Termograma do solo Residual Jovem.

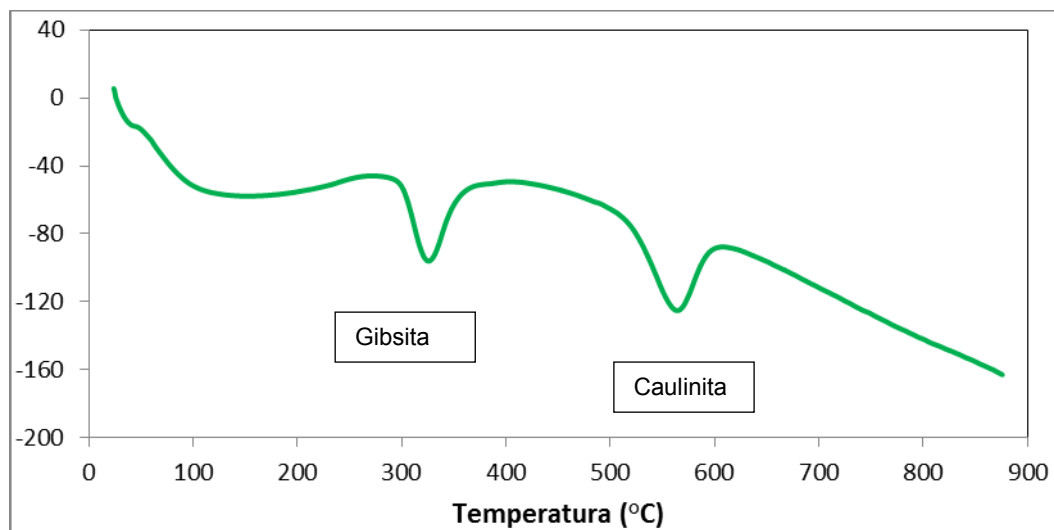


Figura 5.6 – Termograma do solo Colúvio.

5.3.2. Difração de Raios-X

Através da difração de Raios-X, foi realizada a análise para se determinar os minerais constituintes dos solos em estudo. Foram analisadas as frações correspondentes ao material retido nas peneiras #200 e #400.

Nos difratogramas que apresentam picos estreitos, simétricos e bem definidos são caracterizados os minerais com estrutura cristalina bem definida, podendo indicar ainda uma maior porcentagem deste mineral na amostra.

Os resultados obtidos acusam a presença de caulinita, gibbsita e quartzo em todos os materiais, sendo que a caulinita se apresenta com picos bem definidos no solo Residual Jovem. Para a fração retida na peneira #400 deste material, o quartzo se apresenta com um pico bem definido com a mesma intensidade da caulinita.

A Gibbsita se apresenta com uma melhor definição no Colúvio, indicando um maior grau de intemperismo deste material. Observaram-se também pequenos picos de quartzo não muito bem definidos no Colúvio.

As figuras 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 apresentam os difratogramas com os respectivos minerais identificados no solo Residual e Colúvio, respectivamente.

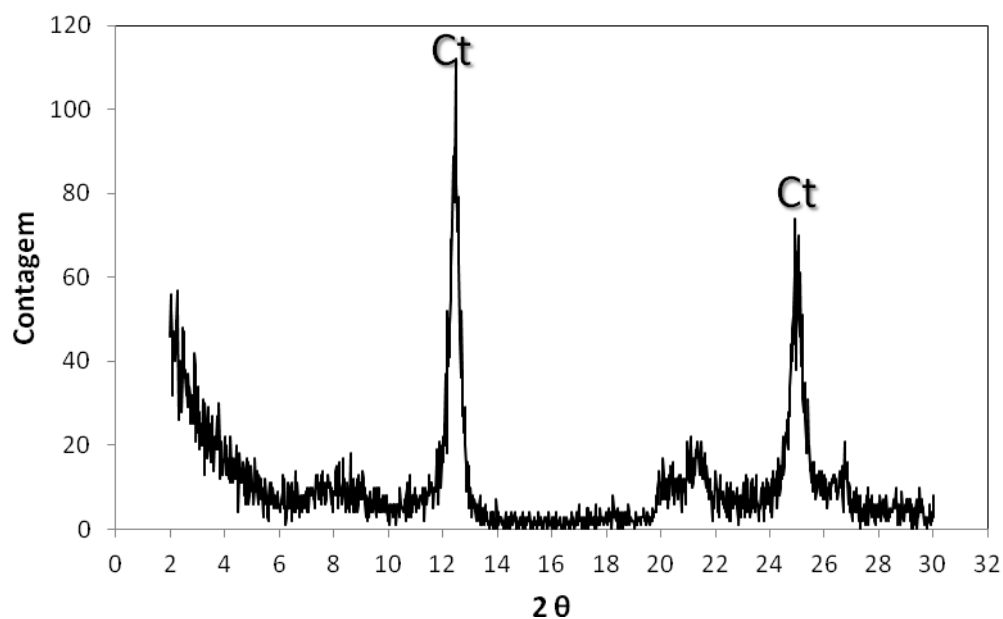


Figura 5.7 – Difratograma do material retido na peneira #200 do solo Residual Jovem.

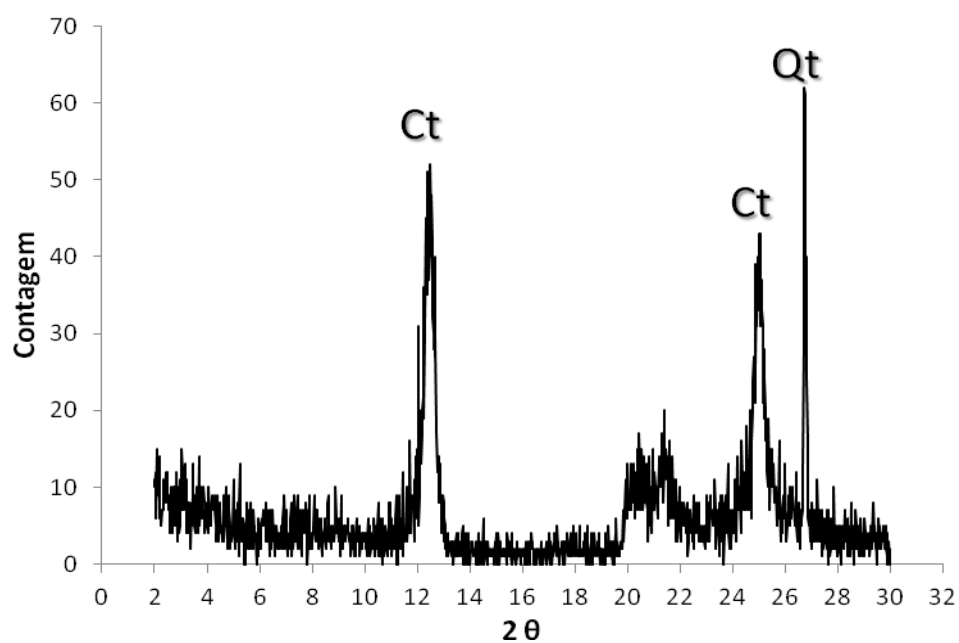


Figura 5.8 – Difratograma do material retido na peneira #400 do solo Residual jovem.

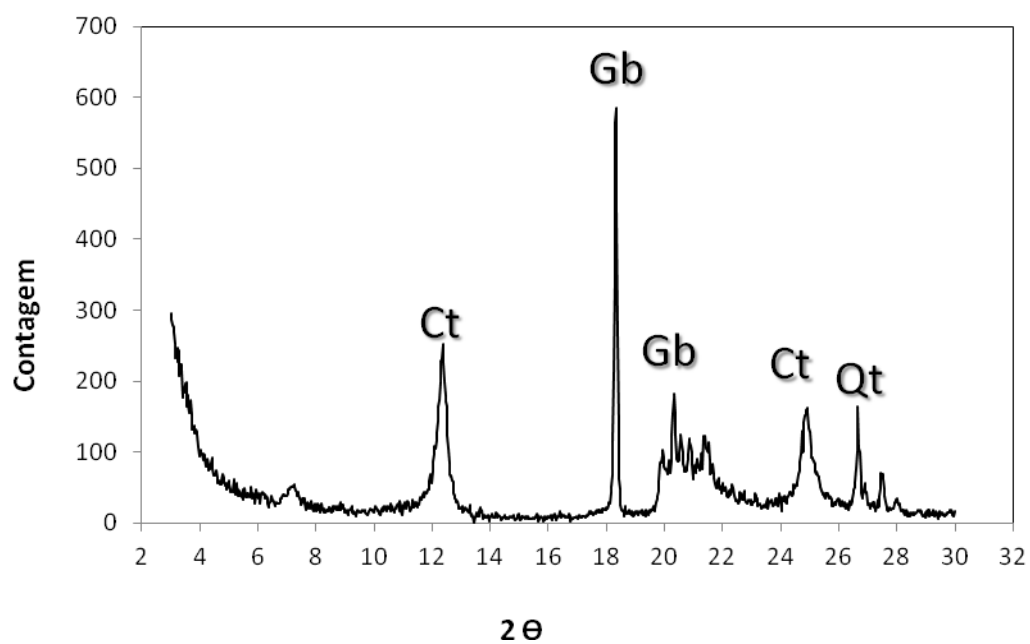


Figura 5.9 – Difratoograma do material retido na peneira #200 do Colúvio.

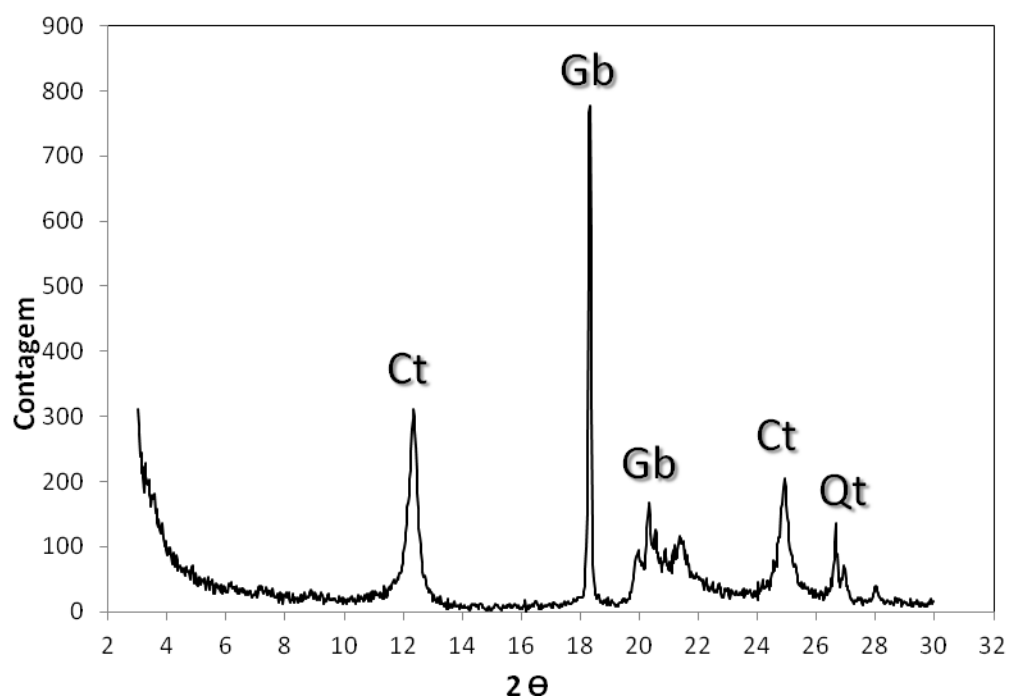


Figura 5.10 – Difratoograma do material retido na peneira #400 do Colúvio.

5.3.3. Microscopia Digital de Varredura

As análises de microscopia eletrônica de varredura foram realizadas no Laboratório de Microscopia do Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio (DCMM).

Através desta técnica, conseguiu-se uma descrição da morfologia dos argilominerais, a distribuição dos poros e uma identificação dos componentes químicos do solo, além de uma possível presença de cimentação no solo, como se apresentam nas figuras 5.11 e 5.12.

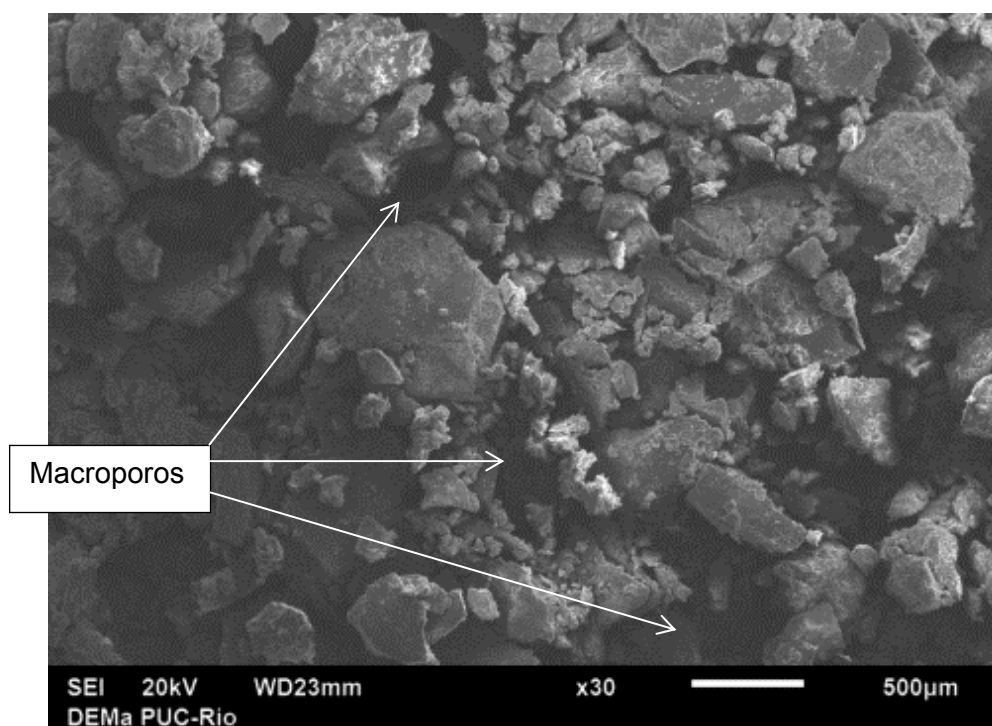


Figura 5.11 – Distribuição de poros (macroporos) na estrutura do solo Residual Jovem.

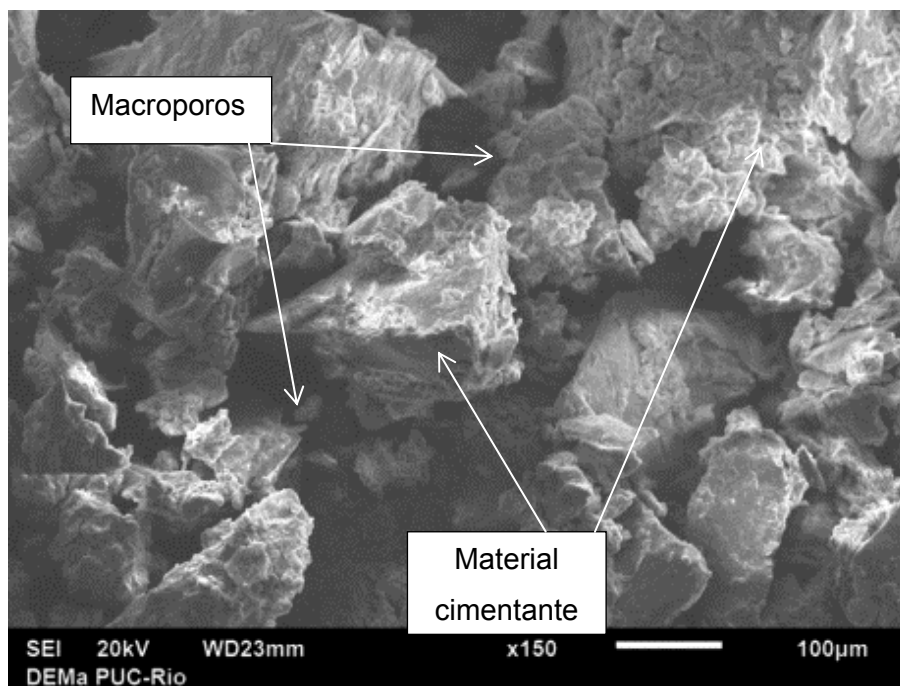


Figura 5.12 – Presença de material cimentante (óxido de ferro) envolvendo os grãos de quartzo e feldspato na estrutura do solo Residual Jovem.

As análises fotográficas no solo Residual Jovem mostram uma distribuição de poros quase homogênea, assim como também material cimentante envolvendo os grãos de quartzo e feldspato fazendo uma união pelas arestas tipo ponte entre os grãos.

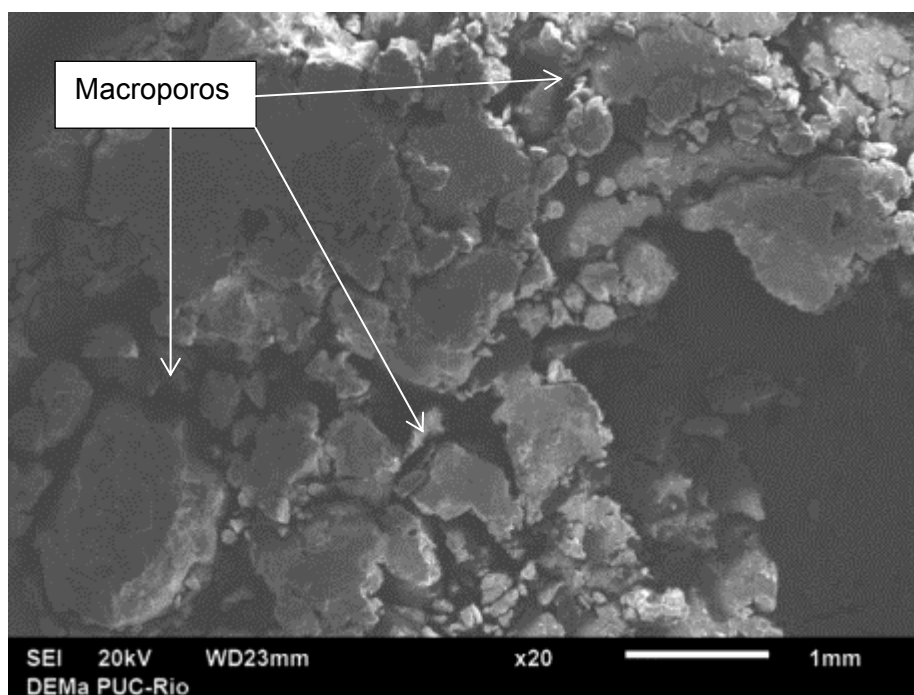


Figura 5.13 – Distribuição de poros na estrutura do solo Residual Jovem.

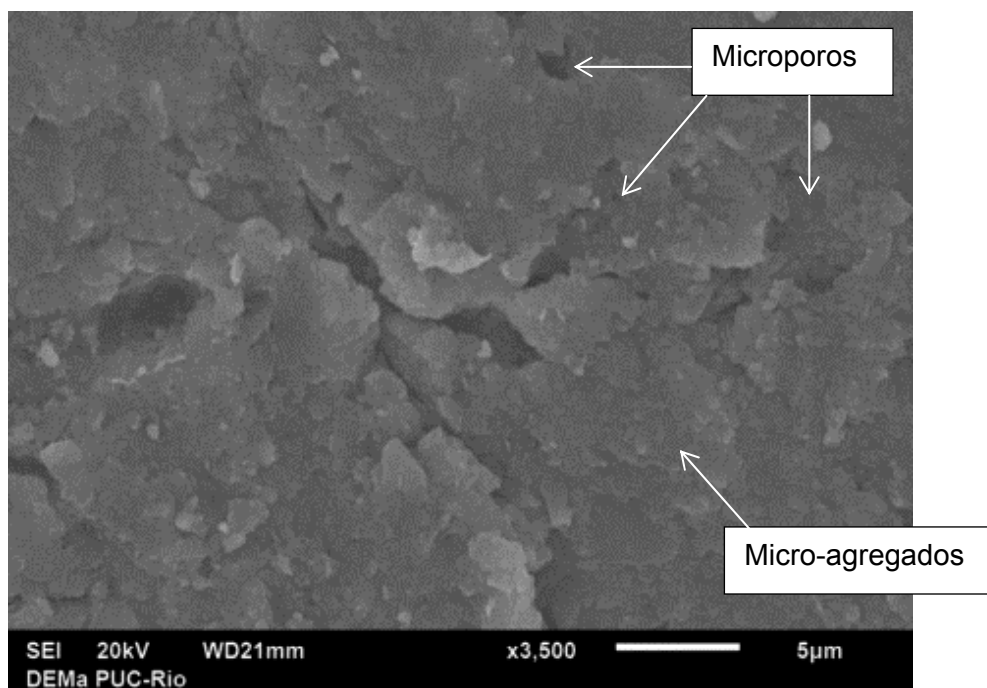


Figura 5.14 –Visualização dos macroporos e microporos na estrutura do Colúvio.

No caso do solo Colúvio, as análises mostram uma distribuição de poros mais diferenciada, dando origem a uma distribuição bimodal, o que se viu refletida no ensaio de porosimetria de mercúrio.

5.4. Curva de Retenção

As curvas de retenção dos materiais estudados foram determinadas através do método do papel filtro. O procedimento utilizado na determinação da sucção mátrica do solo para diferentes umidades está descrito no Capítulo 3. Utilizaram-se também dados obtidos a partir dos resultados de porosimetria. Finalmente para a conformação das curvas características, os dados experimentais obtidos com o papel filtro foram ajustados com o modelo de Fredlund e Xing (1994), o qual foi descrito no capítulo 2.

Para representar a histerese da curva de retenção, foi necessário determinar uma curva seguindo uma trajetória de secagem e outra seguindo uma trajetória de umedecimento. Apresentam-se estas curvas nas figuras 5.15 e 5.16 para o solo Colúvio, e 5.17 e 5.18 para o solo Residual Jovem.

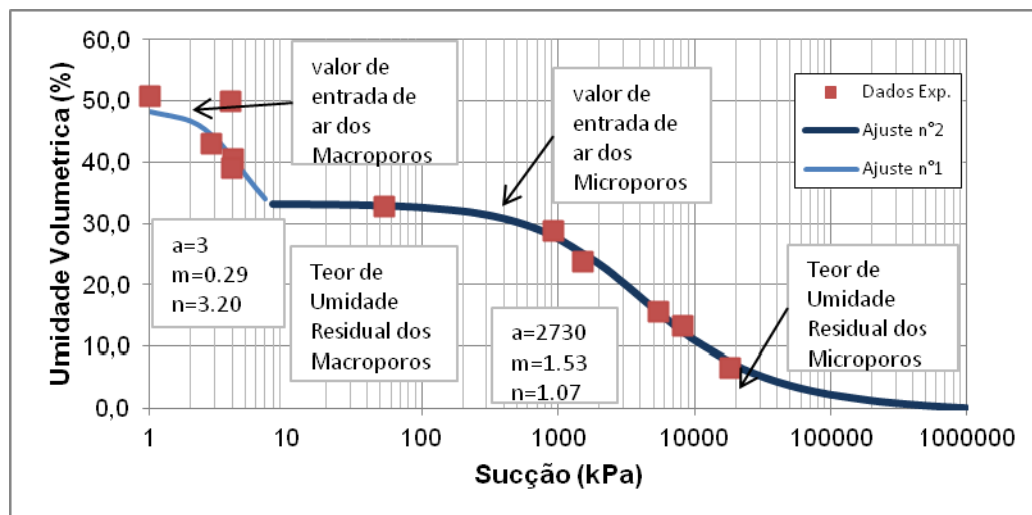


Figura 5.15 – Curva de retenção seguindo uma trajetória de umedecimento – solo Colúvio.

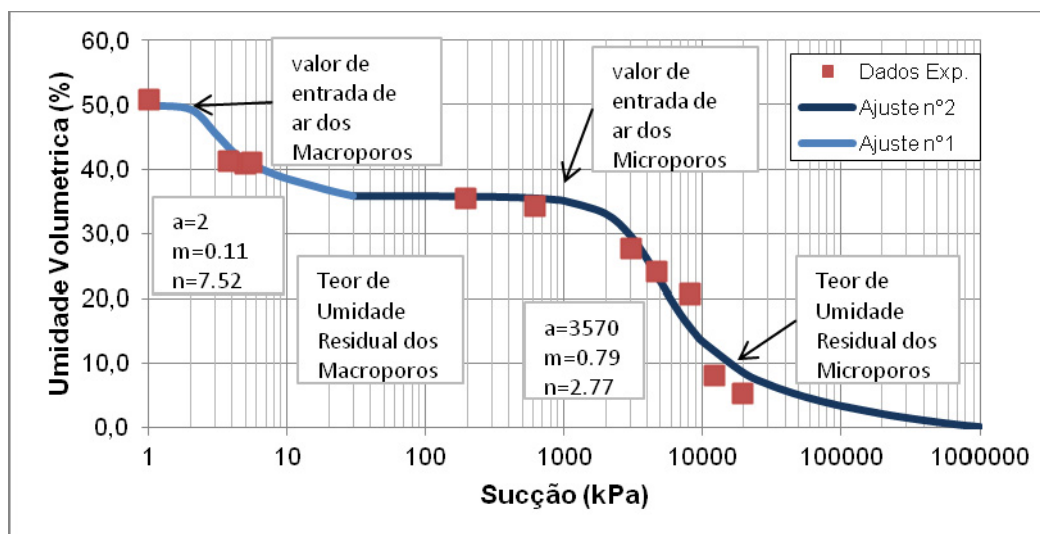


Figura 5.16 – Curva de retenção seguindo uma trajetória de secagem – solo Colúvio.

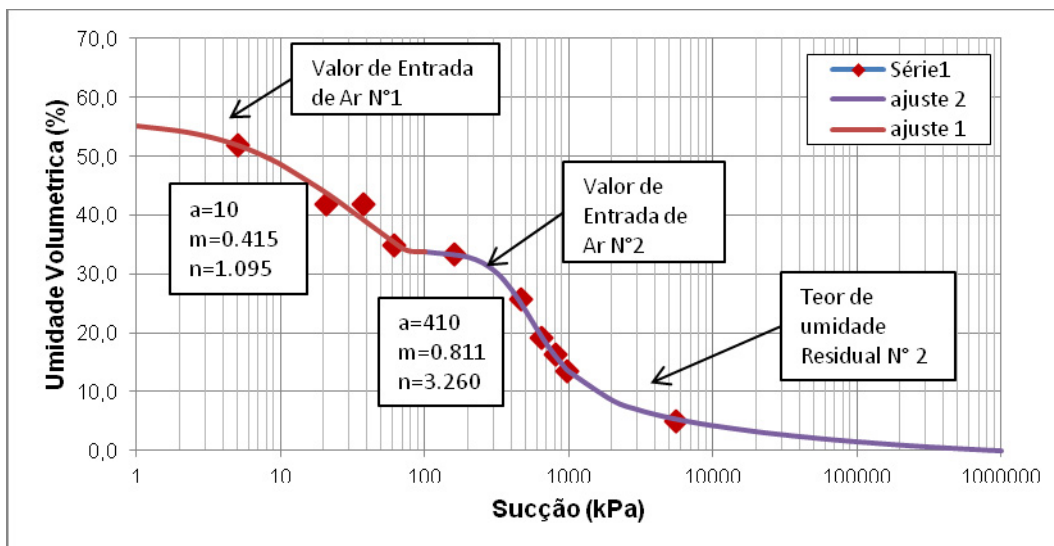


Figura 5.17 – Curva de retenção – solo Residual Jovem.

A partir dos resultados dos ensaios de porosimetria de mercúrio foi possível determinar a curva de retenção, conforme descrito no capítulo 2. As curvas obtidas foram comparadas com aquelas obtidas experimentalmente pelo método do papel filtro, as quais são apresentadas nas figuras 5.19 à 5.23.

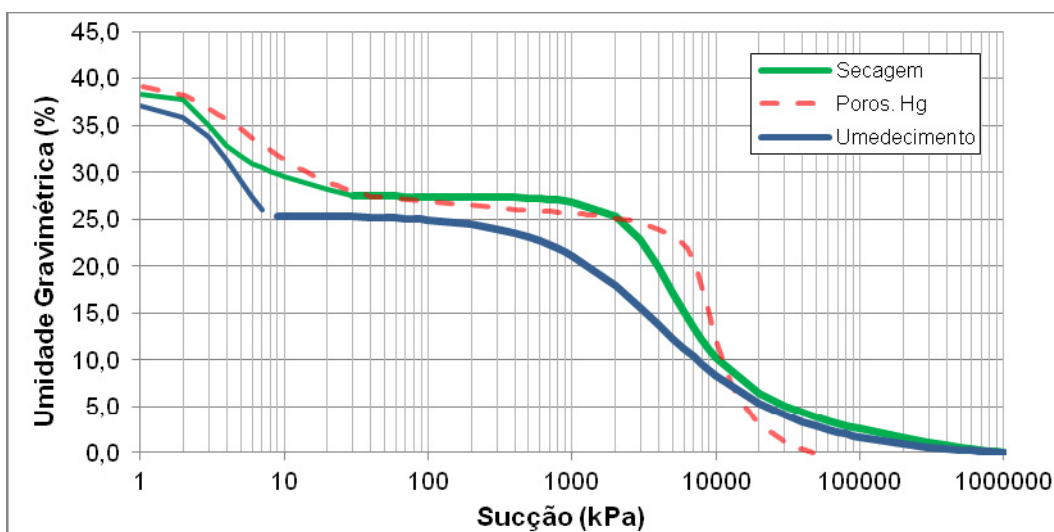


Figura 5.18 – Curva de retenção em função da umidade Gravimétrica – Colúvio.

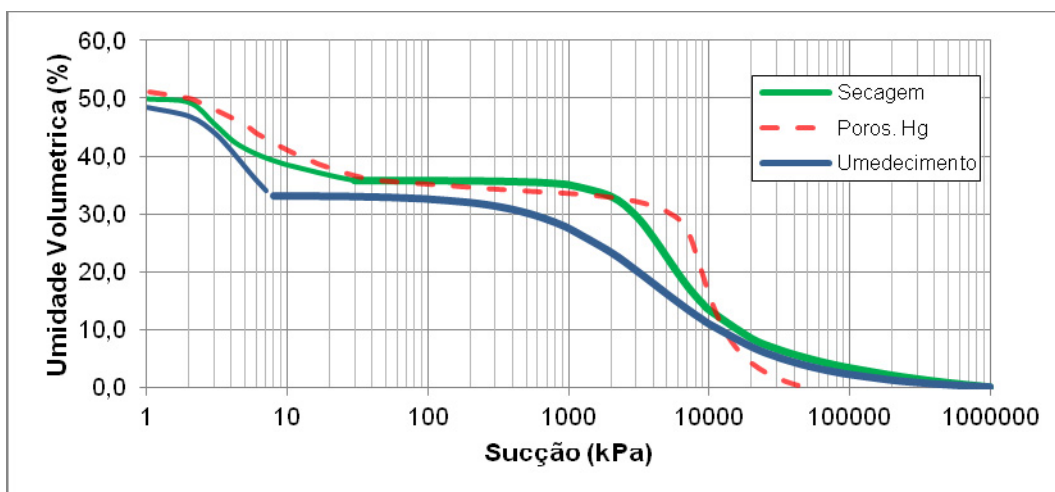


Figura 5.19 – Curva de retenção em função da umidade Volumétrica – Colúvio.

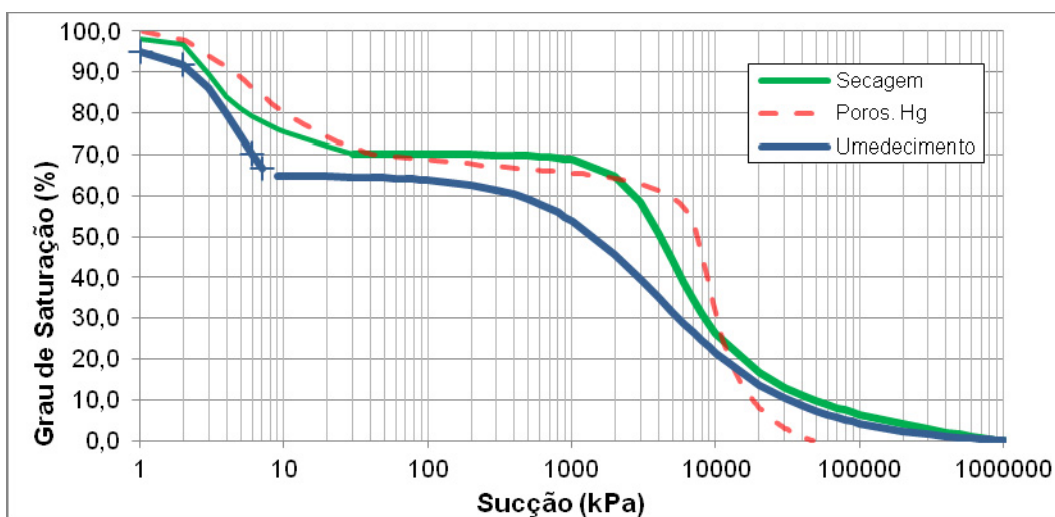


Figura 5.20 – Curva de retenção em função do grau de saturação – Colúvio.

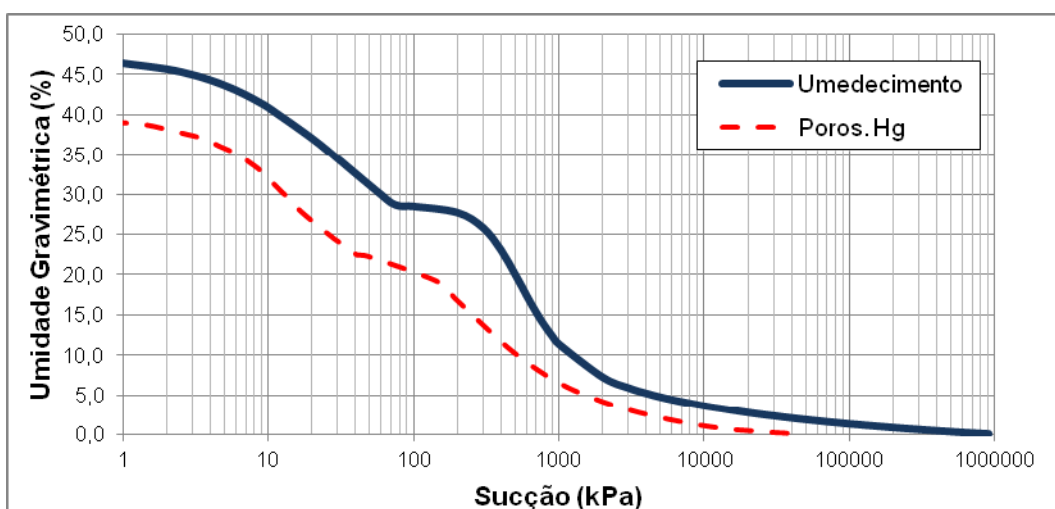


Figura 5.21 – Curva de retenção em função da umidade Gravimétrica – Solo Residual Jovem.

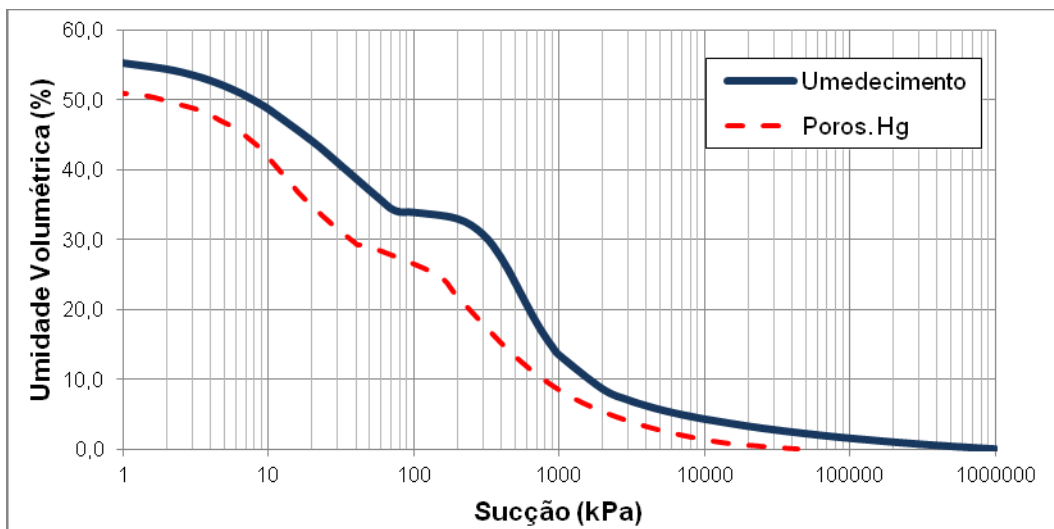


Figura 5.22 – Curva de retenção em função da umidade Volumétrica – Solo Residual Jovem.

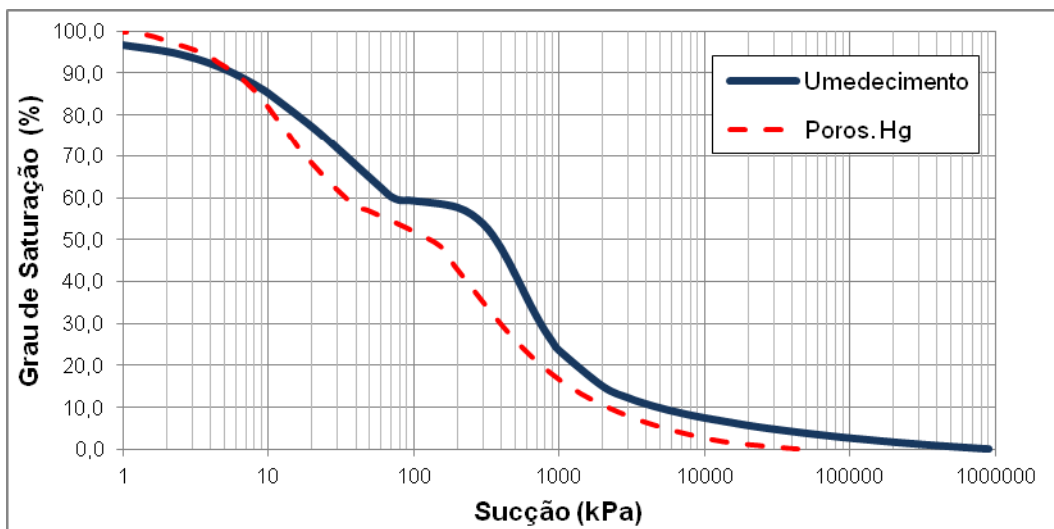


Figura 5.23 – Curva de retenção em função do Grau de Saturação – Solo Residual Jovem.