

## 5 Caracterizações Física, Mineralógica e Química

Neste capítulo, são apresentados os resultados de caracterização física, química e mineralógica dos solos amostrados, juntamente com a análise e interpretação dos mesmos. Os procedimentos específicos para cada ensaio de caracterização foram apresentados no capítulo 4.

### 5.1 Características Físicas

#### 5.1.1 Índices Físicos do Estado Natural

Os dados dos índices físicos dos solos estudados estão apresentados na Tabela 5.1. Para o cálculo dos valores desses índices, foram utilizadas amostras obtidas dos diversos blocos de solo indeformado. A determinação do  $G_s$  seguiu a NBR 6508/1984, como dito no capítulo 4. Na tabela, estão os valores máximo, mínimo e médio dos índices do solo em seu estado natural.

Tabela 5.1 – Índices físicos do em seu estado natural.

Amostra	Valor	$G_s$	$\gamma_{nat}$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_d$ ( $kN/m^3$ )	$W_{nat}$ (%)	e	S (%)	n (%)
SR1	Máx.	-	15,53	13,24	22,58	1,32	54,37	15,53
	Mín.	-	14,11	11,73	16,82	1,06	42,46	14,11
	Méd.	2,779	15,14	12,61	20,04	1,16	47,91	15,14
SR2	Máx.	-	16,59	13,98	21,37	1,30	57,84	16,59
	Mín.	-	15,74	12,97	18,85	0,98	52,70	15,74
	Méd.	2,799	16,16	13,47	20,11	1,14	55,27	16,16
SR3	Máx.	-	16,66	15,10	10,56	0,88	37,14	16,66
	Mín.	-	15,24	14,09	8,22	0,75	25,20	15,24
	Méd.	2,700	15,95	14,59	9,39	0,82	31,17	15,95

#### 5.1.2 Análise Granulométrica

Das análises granulométricas, foram obtidas as porcentagens das frações de solo para cada amostra, como pode ser visto na Tabela 5.2, e as curvas

granulométricas dos 3 solos, apresentadas superpostas na Figura 5.1. Vale ressaltar que não existe significado físico relevante para o cálculo dos coeficientes de uniformidade e curvatura dos grãos para solos muito finos, como os solos estudados nesse trabalho, uma vez que estes parâmetros são usados para expressar a uniformidade de solos granulares (Souza Pinto, 2000). Por esta razão os mesmos não foram determinados para os solos estudados.

Tabela 5.2 - Resumo da Granulometria dos três tipos de solo (valores em %)

Amostra	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
SR1	0,0	0,1	0,5	2,2	62,8	25,2
SR2	0,4	1,3	1,3	5,4	81,0	10,6
SR3	0,0	0,3	5,0	16,8	62,6	15,3

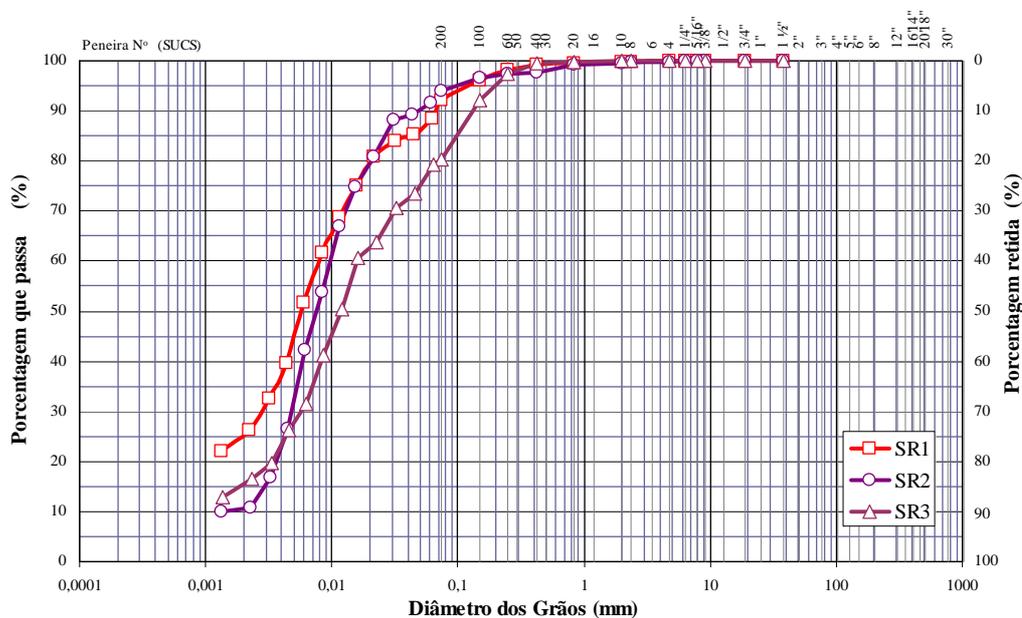


Figura 5.1 – Curvas granulométricas das amostras SR1, SR2 e SR3.

As formas das curvas granulométricas são uniformes, indicando que são solos mal graduados. Suas distribuições granulométricas são muito próximas. Eles apresentam uma alta porcentagem de silte (mais de 60%). O solo SR1 possui uma maior porcentagem de fração argila (25,6%) que as demais amostras, enquanto a porcentagem de areia é maior no SR3 (22,1%).

### 5.1.3 Limites de Atterberg

A Tabela 5.3 mostra os valores dos limites de consistência ou de Atterberg, ou seja, limite de liquidez (LL, %) e limite de plasticidade (LP, %). Dos resultados obtidos, foram calculados o índice de plasticidade (IP, %) e o índice de atividade das argilas ( $I_a$ ), que também estão apresentados nesta tabela. O índice de plasticidade foi obtido pela diferença entre LL e LP. A atividade foi calculada segundo proposta de Skempton (equação 5.1).

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

onde: % < 2  $\mu$ m é a porcentagem da fração argila.

Tabela 5.3 – Limites de consistência e atividade das argilas.

Amostra	LL	LP	IP	Atividade
SR1	54,7	36,8	17,9	0,96
SR2	49,1	30,6	18,5	1,85
SR3	37,0	30,4	6,6	0,44

A classificação de acordo com a fração argila do solo é:

- $I_a < 0,75$  → inativa;
- $1,25 > I_a > 0,75$  → atividade normal;
- $I_a > 1,25$  → ativa.

Analisando os resultados de  $I_a$  obtidos pela equação de Skempton, a fração argila do solo SR1 possui atividade normal, do SR2, ativa e do SR3 é inativa.

### 5.1.4 Classificação do solo – SUCS

A partir dos resultados de caracterização física, podem-se classificar os solos estudados. A classificação usada nesse trabalho segue o sistema unificado de classificação de solos (SUCS). Assim sendo, as amostras dos solos podem ser classificadas como:

- SR1: silte inorgânico de alta plasticidade (MH).
- SR2: silte inorgânico de baixa plasticidade (ML).

→ SR3: silte inorgânico de baixa plasticidade (ML).

Essa classificação foi utilizada mesmo sabendo que se deve considerar outros aspectos como estrutura e mineralogia dos solos residuais para uma boa classificação geotécnica (Cozzolino e Nogami, 1993; Wesley e Irfan, 1997).

## 5.2 Características mineralógicas

### 5.2.1

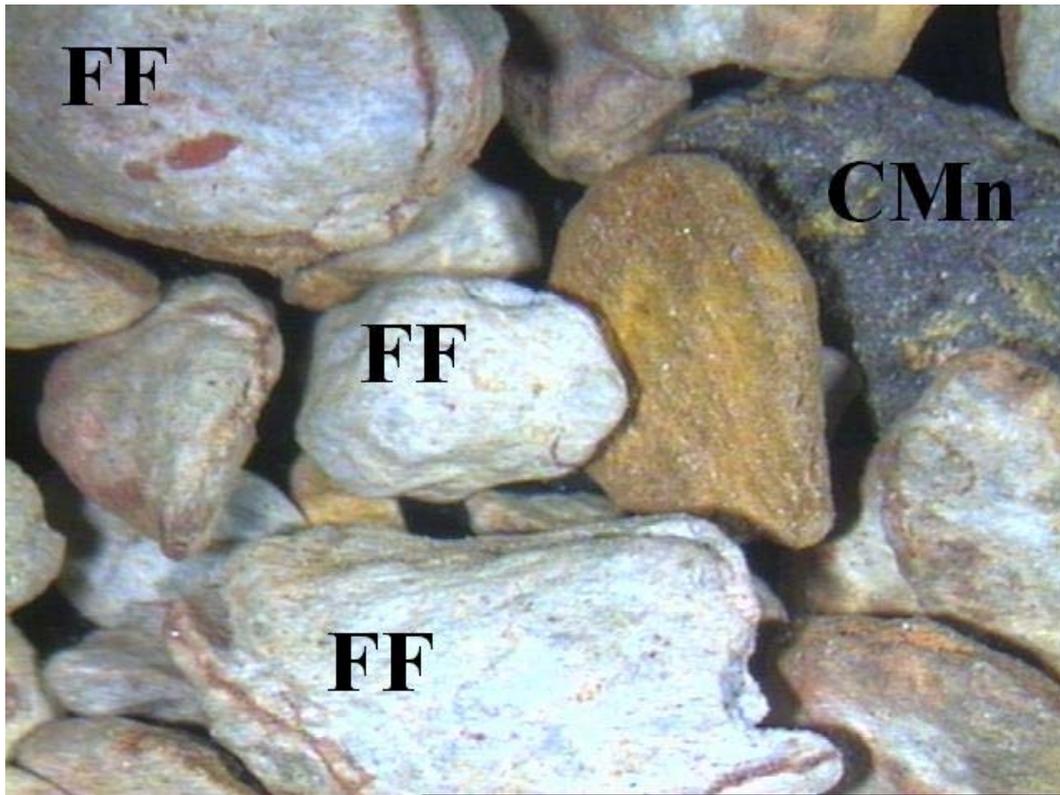
#### Observação na Lupa Binocular

Foram feitas a análise mineralógica das frações pedregulho e areia para que se tenha idéia dos minerais constituintes dessas frações. A Tabela 5.4 resume os minerais identificados através da observação na lupa binocular nessas frações das amostras de solos.

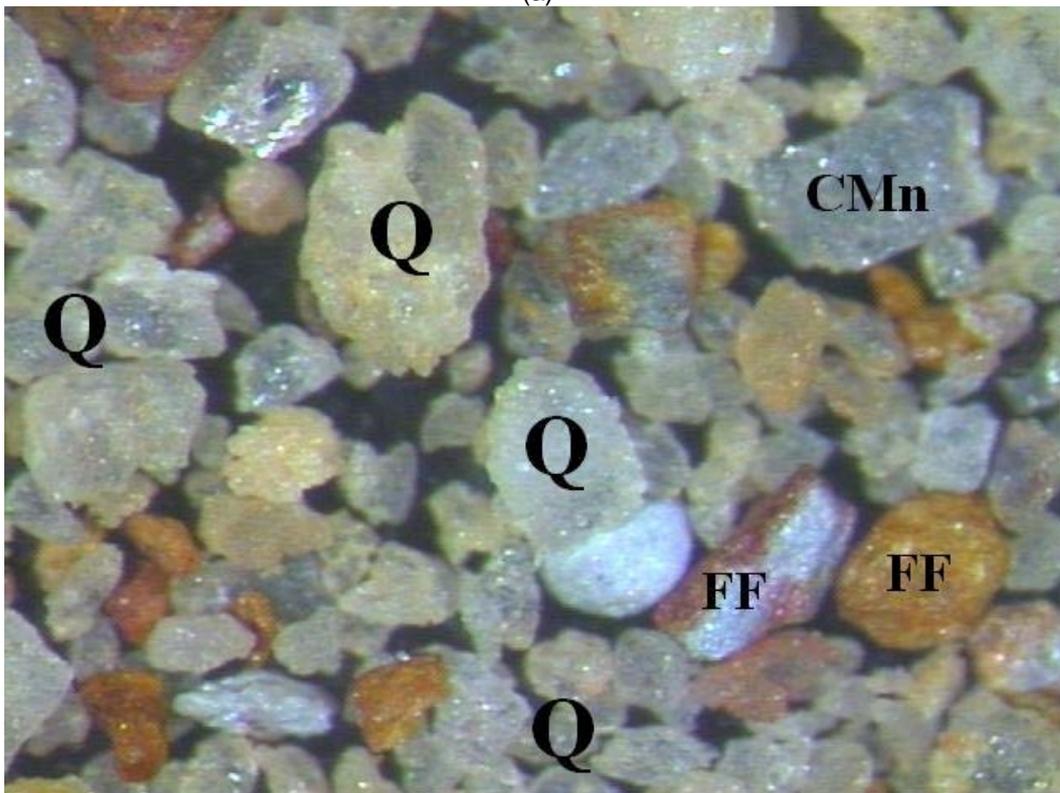
Tabela 5.4 – Mineralogia das amostras de solo.

Amostra	Fração	Minerais
SR1	Pedregulho	Fragmentos de Filito, Quartzo, Concreções de Manganês.
	Areia	Fragmentos de Filito, Quartzo, Concreções de Manganês.
SR2	Pedregulho	Mica (sericita), Quartzo, Concreções de Manganês.
	Areia	Mica (sericita), Concreções de Manganês, Magnetita.
SR3	Pedregulho	Quartzo, Concreções de Manganês.
	Areia	Quartzo, Concreções de Manganês.

Algumas observações dos grãos dos solos podem ser destacadas. No solo SR1, alguns grãos estavam cobertos por óxido de ferro, dando-lhes uma coloração alaranjada. Os fragmentos de filito são de forma arredondada e estavam em estágio de intemperismo avançado, ora apresentavam coloração cinza, ora avermelhada. Os grãos de quartzo são pouco angulosos e as concreções de manganês, de cor preta e de formas variadas. A Figura 5.2 mostra fotos das frações pedregulho e areia deste solo na lupa binocular. Os fragmentos de filito foram identificados com a sigla FF, o quartzo, com Q e as concreções de manganês, com CMn.



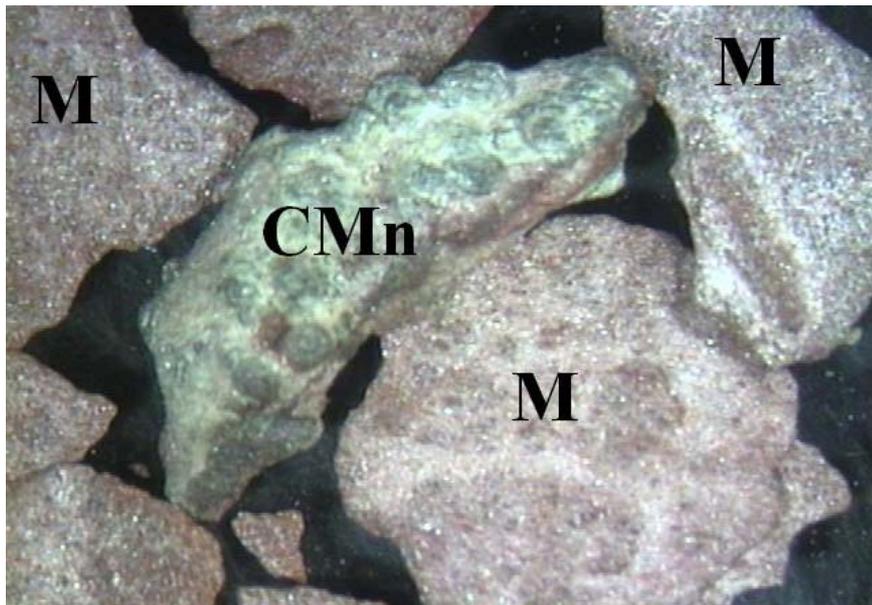
(a)



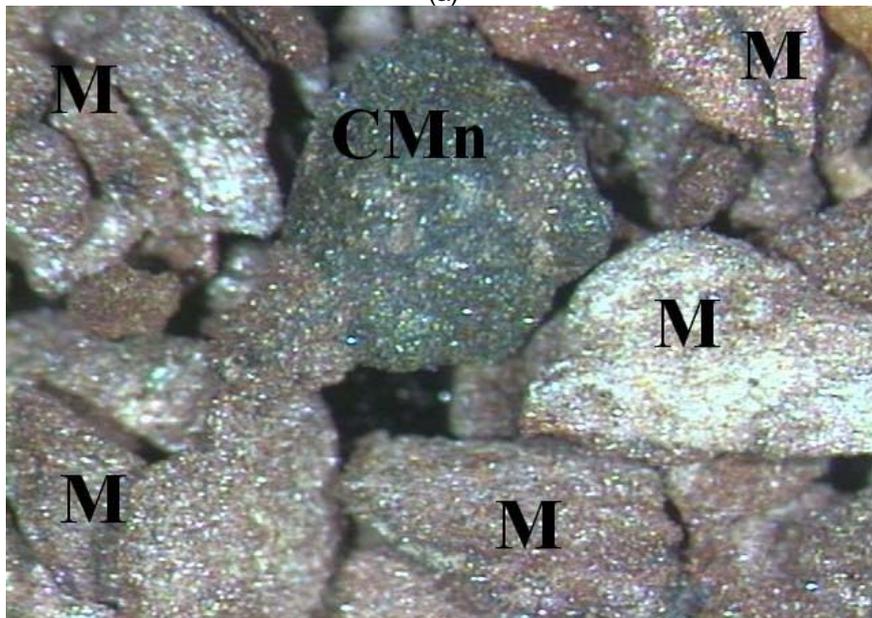
(b)

Figura 5.2 - Detalhes do SR1 observados na Lupa. (a) fração pedregulho (aumento de 6X); (b) fração areia (aumento de 12X).

A maioria dos grãos do solo SR2 apresentou hábito lamelar e brilho, característicos das micas. Observou-se a presença de concreções de manganês e magnetita, identificada com o auxílio de um ímã, sendo que ambos minerais são de coloração preta. Foram identificados poucos grãos de quartzo, que se apresentaram pouco angulosos também. As características acima destacadas podem ser observadas na Figura 5.3. As concreções de manganês foram identificadas na figura abaixo com CMn; os outros grãos observados são mica (sericita), identificado pela letra M.



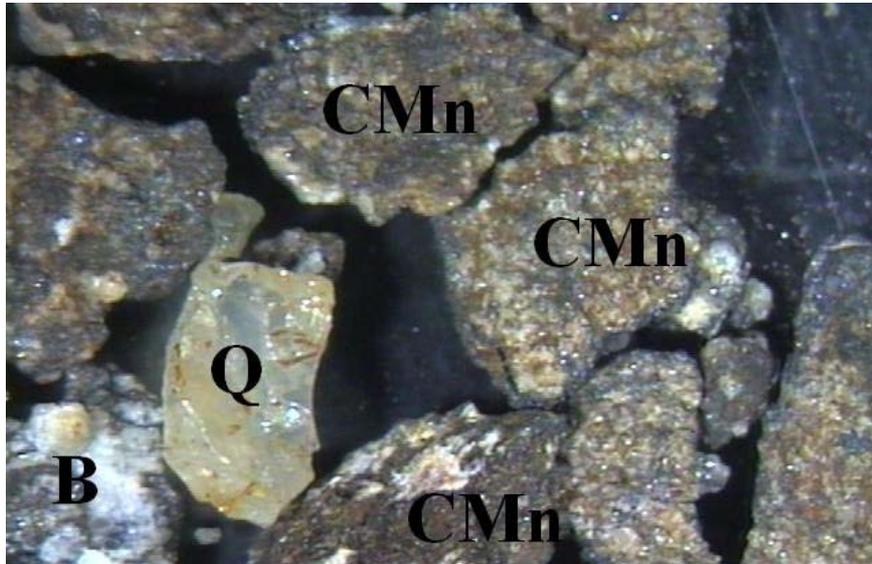
(a)



(b)

Figura 5.3 – Detalhes do SR2 observados na Lupa. (a) fração pedregulho (aumento de 6X); (b) fração areia (aumento de 12X).

O solo SR3 também apresenta grãos de quartzo arredondados e concreções de manganês, negras, cobertas às vezes por um material branco. Foram notados, também, alguns grãos alaranjados. A Figura 5.4 mostra esses detalhes. O quartzo foi identificado com a sigla Q, as concreções de manganês, CMn e o material branco sobre as concreções, B.



(a)



(b)

Figura 5.4 – Detalhes do SR3 observados na Lupa. (a) fração pedregulho (aumento de 6X); (b) fração areia (aumento de 12X).

## 5.2.2 Difração de Raios X (DRX)

Foram realizadas análises de difração de raios-X nas amostras SR1, SR2, SR3 e rocha. Essas análises foram feitas em estado natural em todas as amostras e, em algumas, houve a necessidade de fazer tratamentos para facilitar a identificação dos minerais. Os procedimentos utilizados para a obtenção das amostras e dos difratogramas foram descritos na seção 4.1.2.

### 5.2.2.1 SR1

Nas Figura 5.5 e Figura 5.6, estão apresentados os difratogramas na amostra total e fração silte e argila do solo SR1, assim como os tratamentos realizados. Posteriormente, um sucinto comentário sobre os mesmos é apresentado.

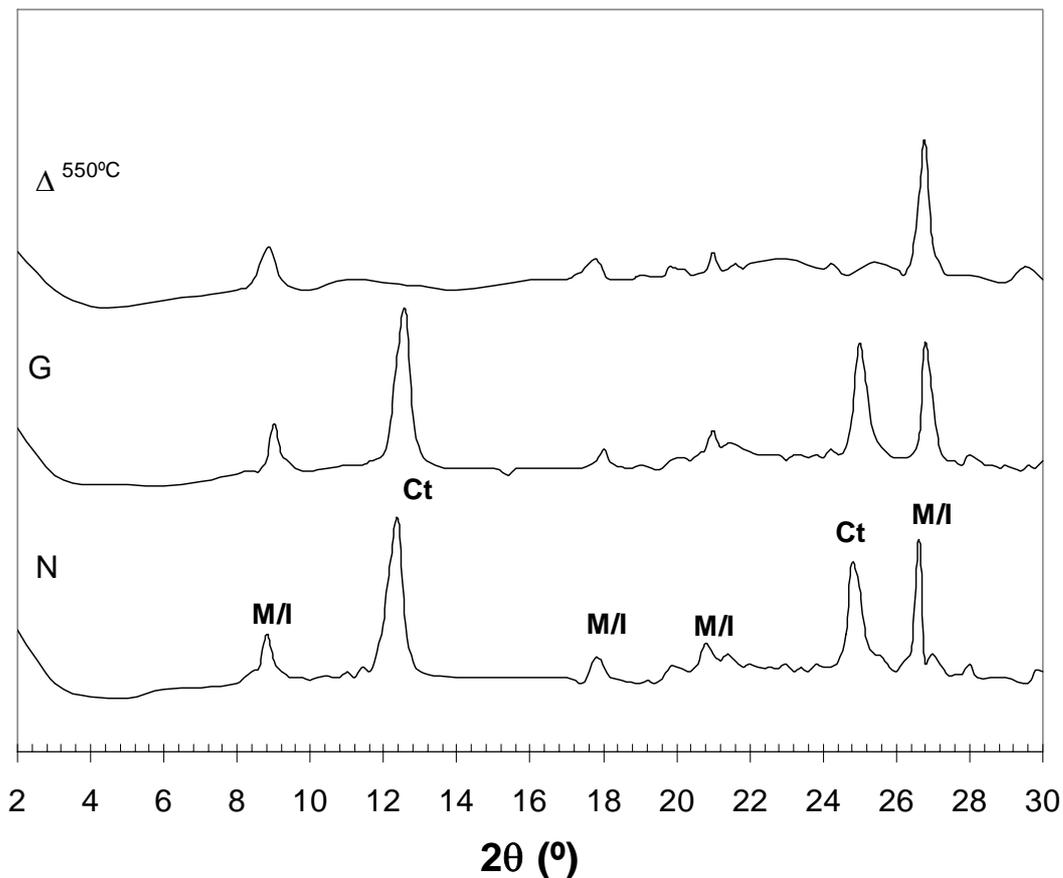


Figura 5.5 - Difratogramas da amostra total do SR1 (Legenda: N = Natural; G = Glicolada;  $\Delta$  = Aquecida; Ct = Caulinita; I = Ilita; M = Mica).

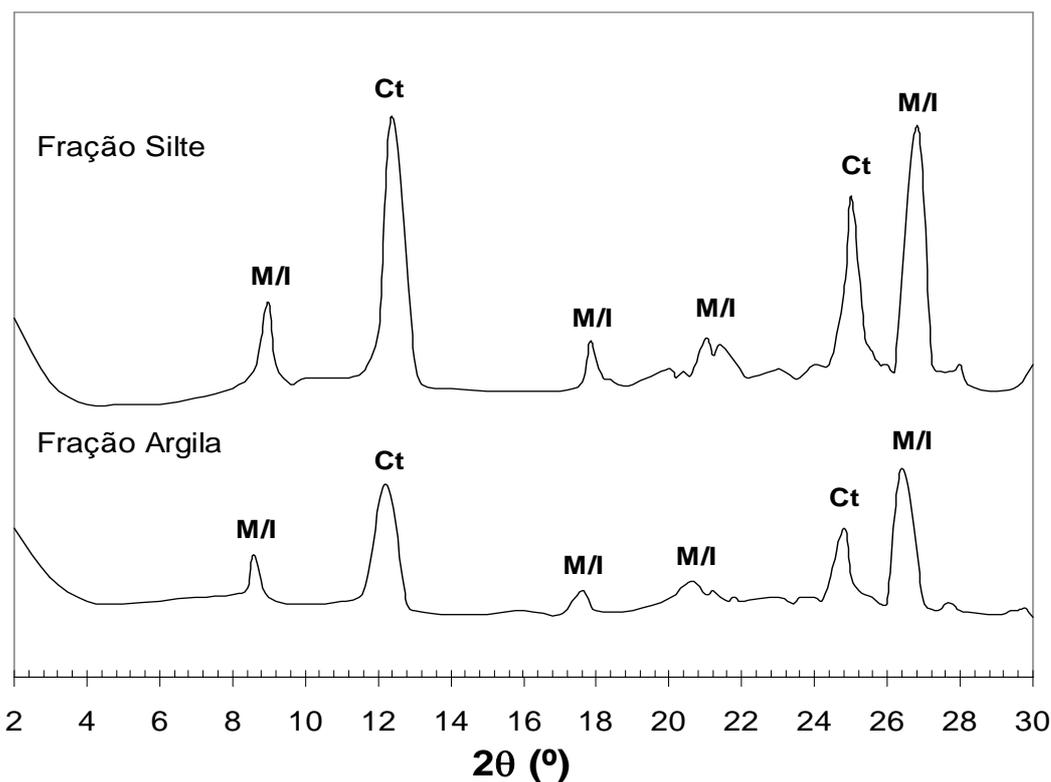


Figura 5.6 - Difratogramas das frações silte e argila do SR1 (Legenda: Ct = Caulinita; I = Ilita; M = Mica).

No gráfico da amostra total, observou-se, ao glicolar, uma banda entre  $2\theta = 19,6^\circ$  e  $21^\circ$ , com um pequeno pico em  $2\theta = 20,8^\circ$  ( $d = 4,23$  nm). O resto do difratograma permaneceu idêntico. Ao aquecer, percebeu-se o abaulamento do pico em  $8,8^\circ$  ( $d = 1,01$  nm).

No difratograma da fração silte, foram observados picos intensos, simétricos e pouco abaulados para as distâncias interplanar basal iguais a 0,71 e 0,96 nm, característicos de argilominerais do grupo da caulinita e da mica, respectivamente. As outras difrações confirmam a presença desses minerais. A fração argila apresentou, basicamente, os mesmos constituintes da fração silte.

Conclui-se desta análise que as frações finas são constituídas essencialmente por caulinita e ilita/mica.

### 5.2.2.2 SR2

Os difratogramas realizados em SR2 (amostra total e frações silte e argila), como também os tratamentos realizados para confirmar a identificação dos argilominerais, estão mostrados na Figura 5.7 e na Figura 5.8. Também se apresenta um breve comentário sobre os resultados da difração de raios-X

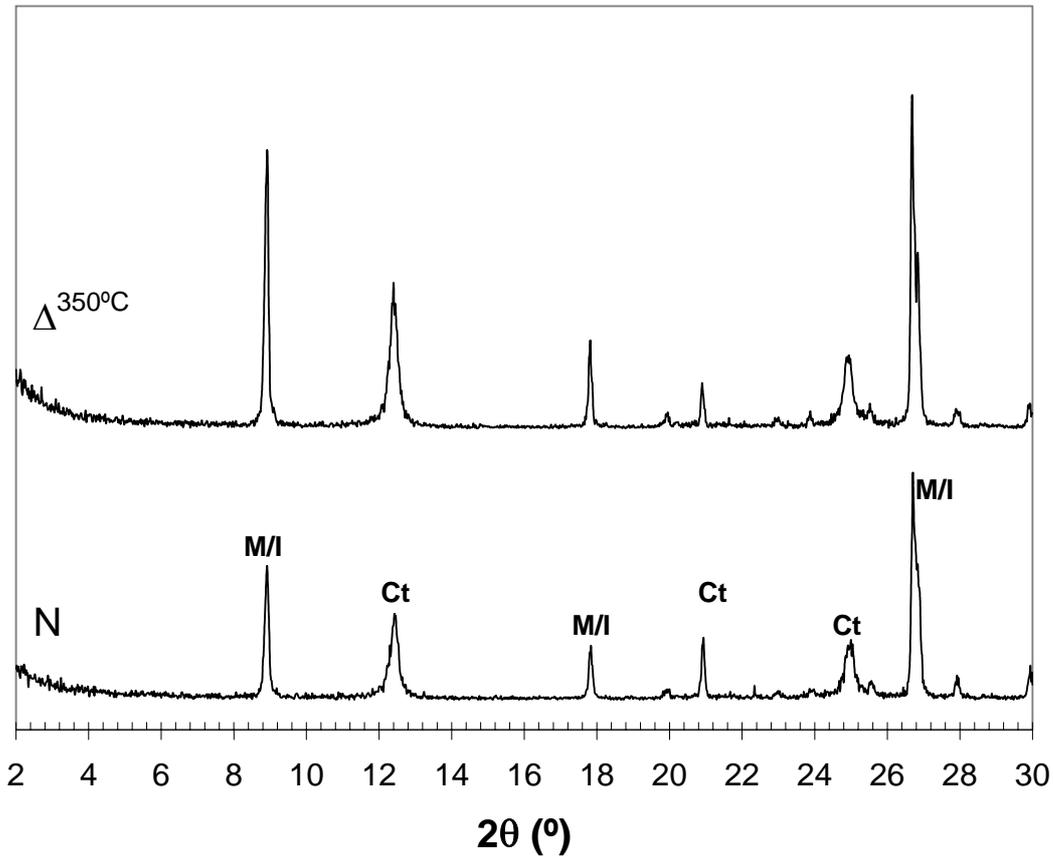


Figura 5.7 - Difratomogramas da amostra total do SR2 (Legenda: N = Natural;  $\Delta$  = Aquecida; Ct = Caulinita; I = Ilita; M = Mica).

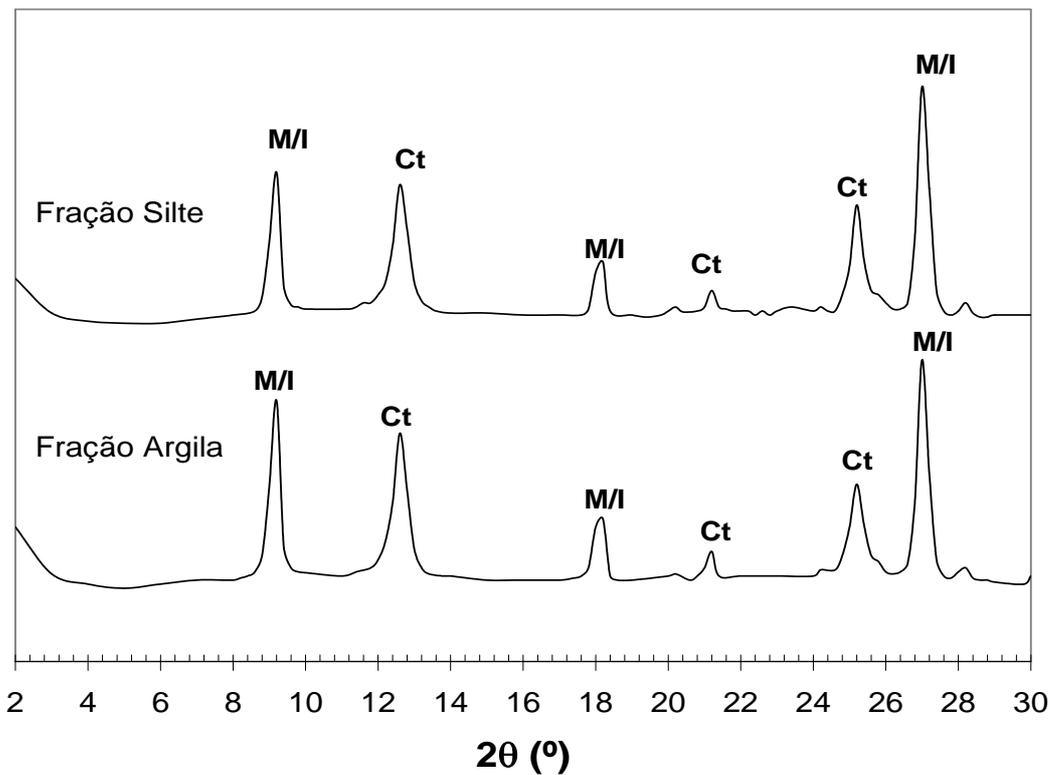


Figura 5.8 - Difratomogramas das frações silte e argila do SR2 (Legenda: Ct = Caulinita; I = Ilita; M = Mica).

A amostra total do SR2 no estado natural apresentou reflexões basais dos grupos das caulinitas e das micas. Ao aquecer a 350° C, houve acentuação de quase todos os picos, com exceção do pico em  $d = 0,42$  nm.

Os picos observados nos difratogramas das frações silte e argila também foram identificados como dos grupos das caulinitas e das micas. Nesses casos, não houve tratamento das amostras.

Com base nessas observações, concluiu-se que os minerais que compõem a fração fina do SR2 são: caulinita e mica/ilita. Pela difração, os picos em  $d = 1,0$  e  $0,33$  nm provavelmente se tratam de uma mica (sericita) ao invés de ilita, visto que esses picos são agudos, simétricos e intensos.

### 5.2.2.3 SR3

A Figura 5.9 apresenta os difratogramas em amostra total e nas frações silte e argila do solo residual 3 (SR3). Já na Figura 5.10, estão apresentados os difratogramas dos materiais designados como preenchimento laranja e preenchimento preto que preenchiam as fraturas do solo. Os comentários sobre os resultados obtidos estão no final deste sub-item.

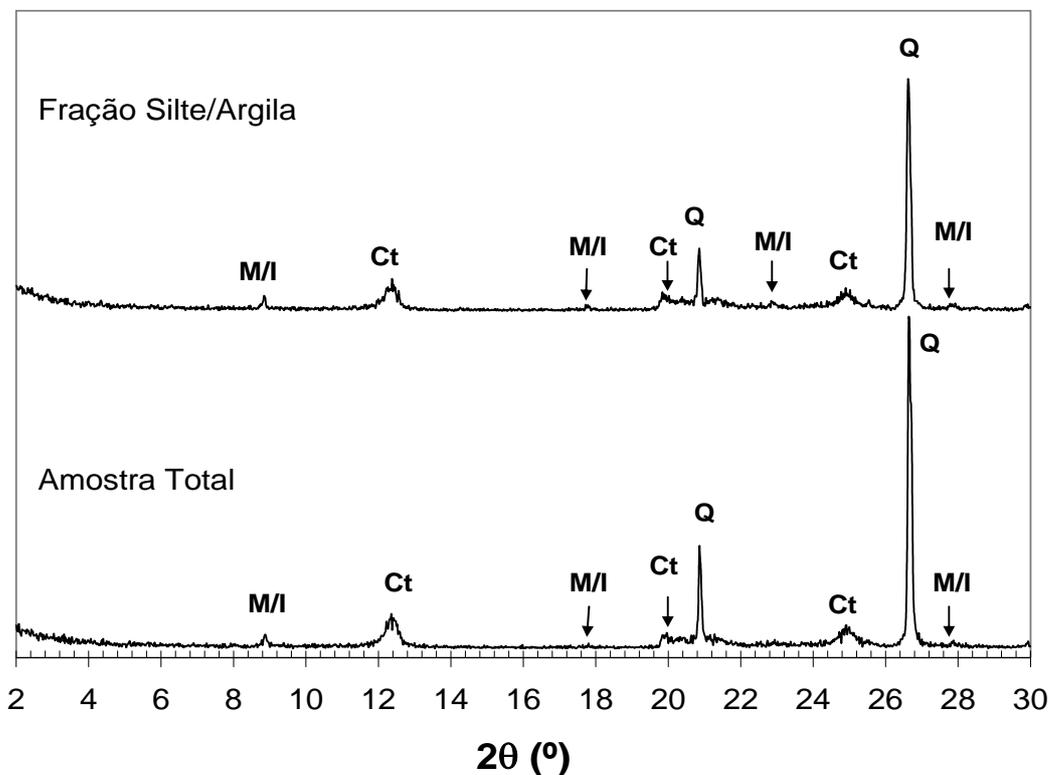


Figura 5.9 - Difratogramas da amostra total e das frações silte e argila do SR3 (Legenda: Ct = Caulinita; I = Ilita; M = Mica, Q = Quartzo).

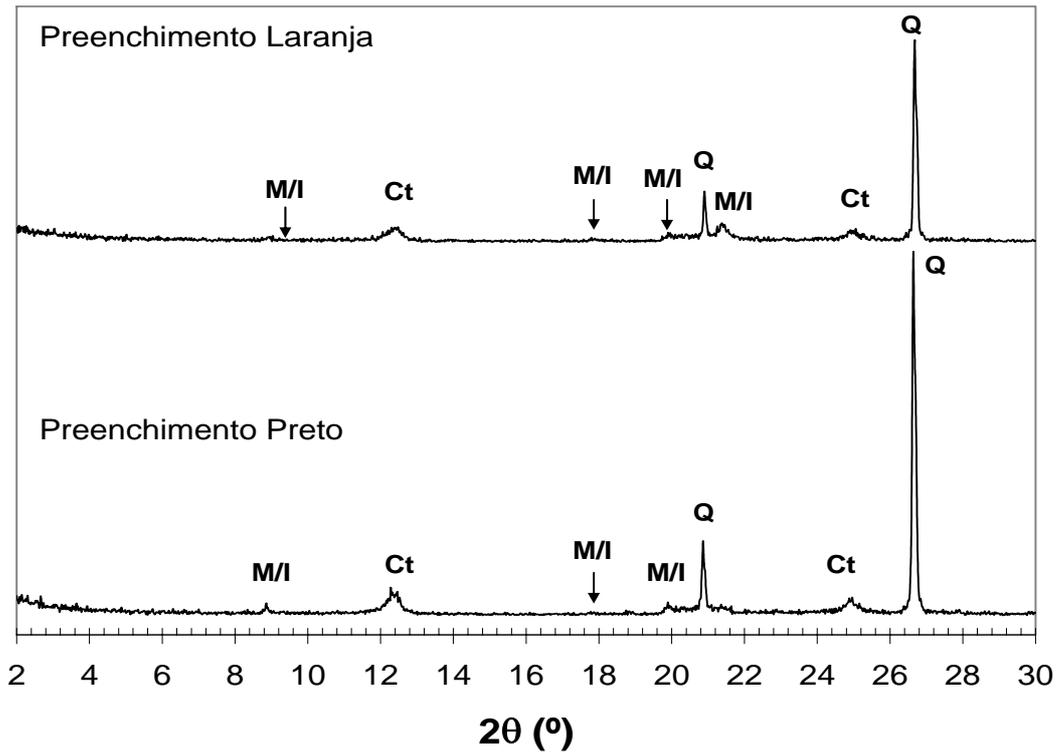


Figura 5.10 - Difratomogramas das amostras totais dos preenchimentos das fraturas do solo SR3 (Legenda: Ct = Caulinita; I = Ilita; M = Mica; Q = Quartzo).

Nos difratogramas das amostras total e frações de silte e argila, foram identificadas reflexões basais dos grupos de argilominerais das caulinitas e das micas e, também, do mineral quartzo.

As fraturas observadas no campo e nos blocos eram preenchidas, principalmente, por dois materiais de colorações bem diferentes: um preto e outro alaranjado. A fim de identificar a composição mineralógica desses preenchimentos, procedeu-se à DRX. Os picos apresentados também não se diferenciaram daqueles das amostras total e da fração fina.

Dessa análise, pôde-se concluir que tanto a fração fina do solo quanto os materiais de preenchimento são constituídos por: caulinita, mica/ilita e quartzo.

#### 5.2.2.4 Rocha

A fim de identificar os possíveis argilominerais existentes em uma amostra de rocha alterada de filito, foram realizadas as difratometrias por raios-X em uma amostra total, na fração silte e na fração argila desta rocha. Neste caso houve necessidade aquecer e glicolar as amostras. Os resultados obtidos estão apresentados nas Figura 5.11, Figura 5.12 e Figura 5.13. Novamente, após as figuras encontra-se um breve comentário das mesmas.

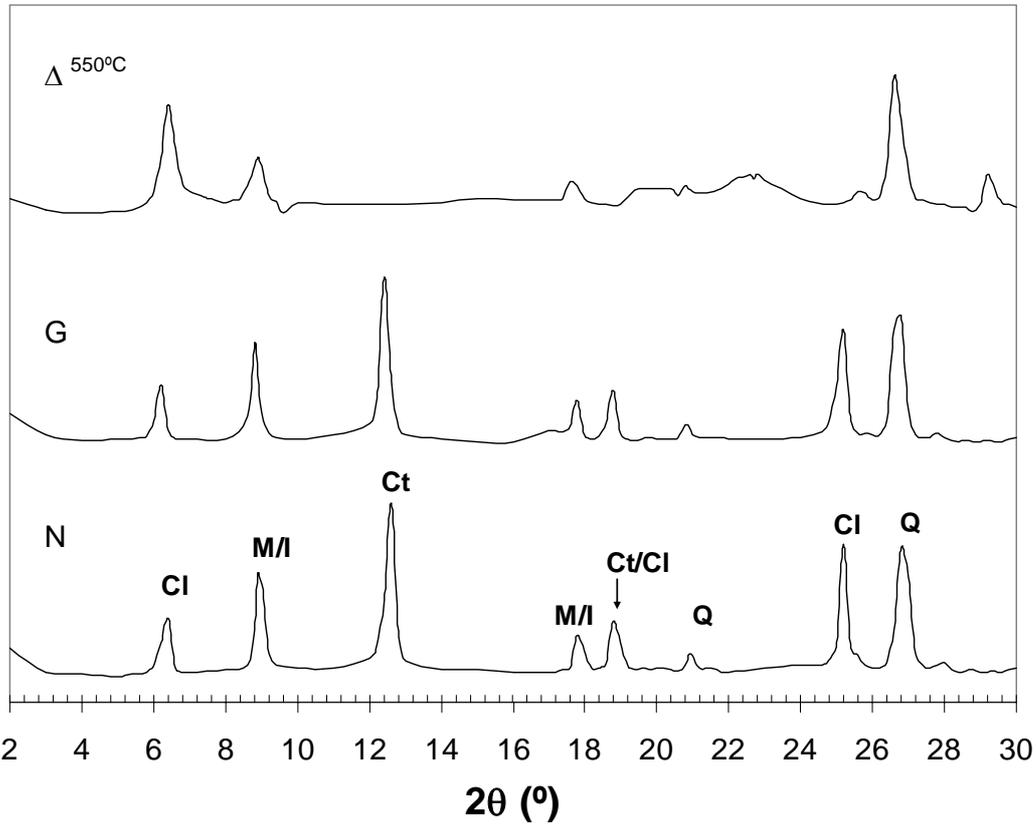


Figura 5.11 - Difratogramas da amostra total da amostra de rocha (Legenda: N = Natural; G = Glicolada;  $\Delta$  = Aquecida; Cl = Clorita; M = Mica; Q = Quartzo).

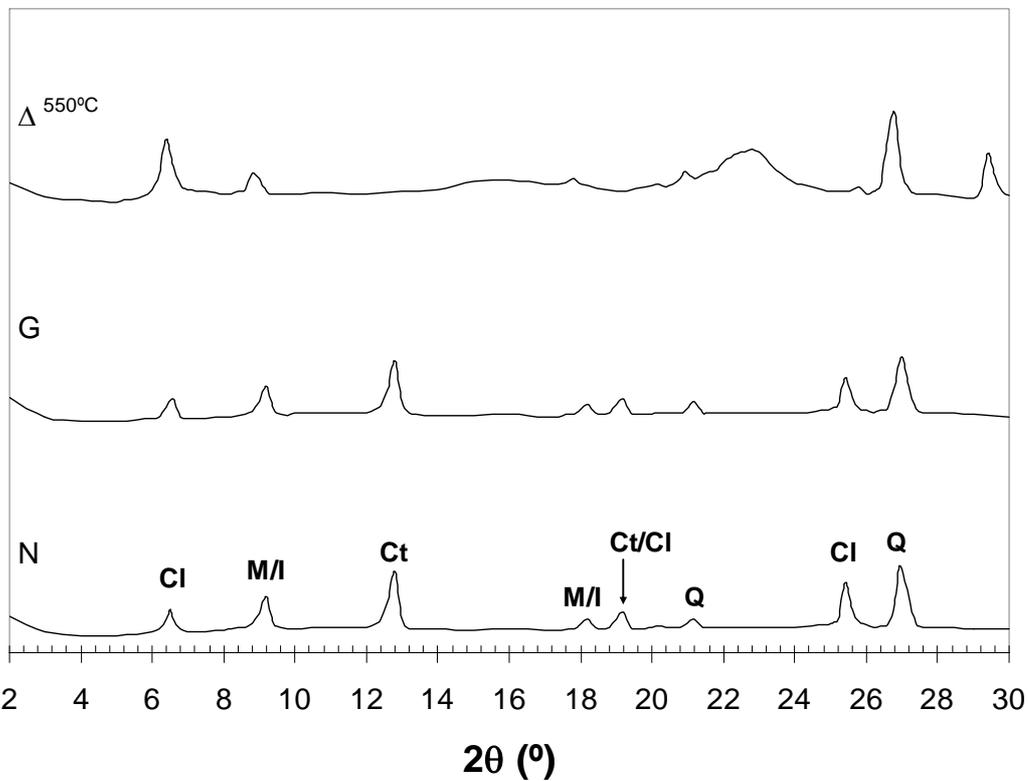


Figura 5.12 - Difratogramas da fração silte da amostra de rocha (Legenda: N = Natural; G = Glicolada;  $\Delta$  = Aquecida; Cl = Clorita; Ct = Caulinita; M = Mica).

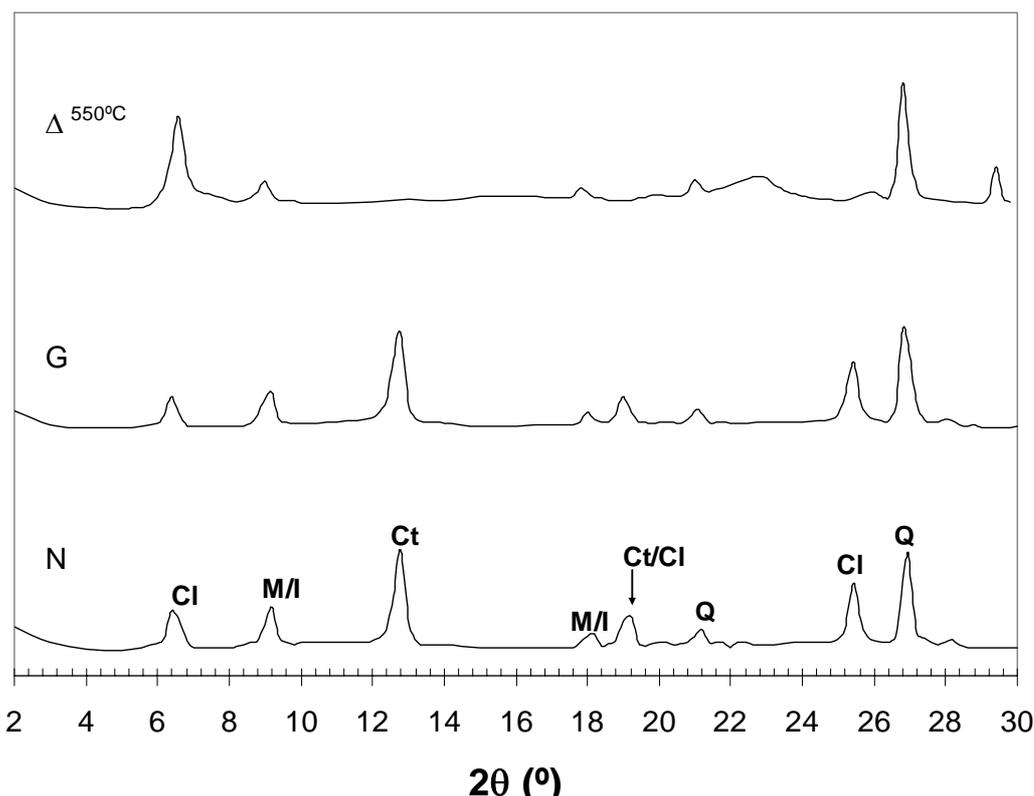


Figura 5.13 - Difratomogramas da fração argila da amostra de rocha (Legenda: N = Natural; G = Glicolada;  $\Delta$  = Aquecida; Cl = Clorita; Ct = Caulinita; M = Mica; Q = Quartzo).

Analisando os difratogramas da rocha, constatou-se que a mesma é constituída pelos minerais: clorita, mica, quartzo e caulinita. Os tratamentos realizados confirmaram a presença de clorita ( $d = 1,4$  nm,  $2\theta = 7^\circ$ ). O difratograma desse argilomineral não se altera ao glicolar, intensificando os picos ao aquecer (Santos, 1975). No difratograma da Figura 5.13, observou-se que a reflexão basal a aproximadamente  $13^\circ$  ( $d = 0,7$  nm) era bem abaulada e pequena, indicando a presença de caulinita. Ao aquecer, esse pico desapareceu, confirmando que se tratava desse argilomineral (Santos, 1975).

### 5.3 Características químicas

#### 5.3.1 Análise química total

Foi realizada a análise química total das amostras de solo e rocha no Laboratório de Fluorescência e Difração de Raios-X do Departamento de Geologia da UFRJ como descrito anteriormente no item 4.1.3. A Tabela 5.5 mostra os resultados obtidos desta análise.

Tabela 5.5 - Análise química total em porcentagem em peso.

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Traços	P.F.*
SR1	56,40	24,11	-	8,63	0,97	2,27	0,08	0,03	Mg, P, Cr, Ni, Ce	7,53
SR2	54,96	24,53	-	9,51	1,02	4,16	-	-	Na, Mg, P, S, Ca, V, Cr, Mn, Sr, Y, Zr, Ba	5,83
SR3	56,59	25,04	-	7,35	1,06	4,25	-	-	Na, Mg, P, Ca, Cr, Mn, Rb, Zr, Ba	5,70
Rocha	58,14	20,65	2,63	9,73	0,72	3,34	0,19	-	Na, P, S, Ca, Sc, Cr, Sr, Y, Zr, Ba, La, Nd	4,59

\* Perda ao Fogo.

Os índices de intemperismo químico, isto é, ba, ba1 e ba2, não puderam ser determinados. O cálculo destes índices depende da concentração de potássio, sódio e cálcio. Estes dois últimos elementos não são expressivos nos solos e rocha estudados, portanto os valores encontrados não seriam bons indicativos do grau de intemperismo.

Outro índice que pode ser usado para correlacionar o intemperismo é a perda ao fogo do material, sendo que quanto maior esse valor, mais intemperizado. Observou-se que houve um decréscimo do valor de perda ao fogo de SR1 para a amostra de rocha. Comparando esse índice das três amostras, concluiu-se que o solo SR1 é o mais intemperizado e, também, que a rocha encontra-se intemperizada, visto que sua perda ao fogo é próxima do valor do solo SR3.

### 5.3.2 Análise química parcial

Como mencionado no item 4.1.3, apenas os minerais representativos das frações finas do solo (e.g. argilominerais, óxidos cristalinos de ferro e de alumínio e amorfos) são decompostos na análise química parcial. Esses minerais são responsáveis, principalmente, pelas características dessas frações. A fim de terminar esses minerais procedeu-se a análise química parcial das amostras de solo e rocha. O procedimento dessa análise foi descrito no capítulo 4. Na Tabela 5.6, estão apresentados os resultados obtidos do ataque sulfúrico nas amostras de solo e rocha.

Tabela 5.6 – Análise química parcial – Ataque sulfúrico.

Amostra	Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1:1) NaOH (0,8%) (%)					Ki	Kr	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3} *$	
SR1	19,0	19,3	9,1	1,1	1,4	1,67	1,29	3,33
SR2	16,6	16,5	7,7	0,8	1,9	1,71	1,32	3,36
SR3	17,8	16,0	4,0	0,7	0,8	1,89	1,63	6,28
Rocha	15,2	15,1	11,0	0,5	1,7	1,71	1,17	2,15

\*  $R_2O_3 = Al_2O_3 + Fe_2O_3$

Analisando os dados da Tabela 5.6, verificou-se uma diminuição no teor de óxido de silício da amostra mais intemperizada para a amostra de rocha, exceto no solo SR3, podendo-se atribuir essa diferença ao fato dessa amostra possuir maior quantidade de quartzo.

Com o índice Ki, podem-se correlacionar solos de um perfil, indicando o grau de intemperismo dos mesmos. O solo será mais intemperizado, quanto menor for o valor de Ki determinado. Dos valores para o índice Ki (ver Tabela 5.6), foi concluído que o solo SR1 é o mais intemperizado. Nota-se que o índice Ki da amostra de rocha, é menor que o do SR3 e igual ao do SR2, ressaltando que a amostra de rocha encontrava-se intemperizada.

Outro índice calculado que se correlaciona ao intemperismo dos solos é o Kr. Esse índice está associado ao grau de intemperismo sob um ponto de vista pedológico. Da mesma forma que o Ki, quanto menor o valor de Kr mais intemperizado será o material. A partir dos valores de Kr, confirmou-se que a amostra mais intemperizada foi o SR1. Foi obtido um valor de Kr menor para a amostra de rocha intemperizada, comparativamente às outras amostras.

Na Tabela 5.7, são apresentados os resultados do complexo sortivo das amostras de solo e rocha, isto é, os íons trocáveis dessas amostras. Observou-se que não foi possível quantificar os cátions Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> separadamente. Os demais valores de cátions presentes nas amostras também foram baixos.

Tabela 5.7 - Análise química parcial – Complexo sortivo.

Amostra	Complexo Sortivo (meq/100g)						CTC (meq/100g)
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	
SR1	0,	3	0,01	0,01	0,2	1,3	1,8
SR2	0,	3	0,01	0,02	0,9	0,7	1,9
SR3	0,	7	0,01	0,01	1,0	0,5	2,2
Rocha	0,6	0,9	0,05	0,01	0,3	0,2	2,1

A capacidade de troca catiônica (CTC), isto é, a capacidade da fração fina de reagir química e reversivelmente com cátions devido ao fato de apresentarem uma carga negativa em sua superfície (Santos, 1975), pode ser calculada somando-se as cargas negativas obtidas no complexo sortivo. Deste resultado, pôde-se concluir que as amostras possuem pouca capacidade de adsorção, uma vez que os valores determinados para cada amostra foram baixos. Comparando com valores típicos de CTC para alguns argilomineral (Tabela 5.8), concluiu-se que os valores determinados foram aproximadamente o esperado, de acordo com a mineralogia das amostras.

Tabela 5.8 – Valores típicos de CTC para alguns argilominerais (Santos, 1975).

Argilomineral	CTC (meq/100g)
Caulinita	3 – 5
Haloisita.2H <sub>2</sub> O	5 – 10
Endelita ou Haloisita.4H <sub>2</sub> O	10 – 40
Esmectita	80 – 150
Ilita	10 – 40
Vermiculita	100 – 150
Clorita	10 – 40
Sepiolita-paligorsquita	20 – 30

Ainda dos resultados de análise química parcial, foi determinado o teor de alguns argilominerais das amostras de solo e rocha, de acordo com proposta de Santos (1998). Usou-se fórmulas estruturais padrão da ilita (Weaver e Pollard, 1975 *apud* Santos, 1998) e caulinita (Santos, 1975) para calcular, aproximadamente, o teor desses minerais. A Tabela 5.9 mostra as porcentagens de cada composto nessas fórmulas.

Tabela 5.9 – Teor dos compostos da fórmula estrutural padrão da ilita e caulinita (adaptado de Weaver e Pollard, 1975, citado por Santos, 1998, e de Santos, 1975).

Composto	Teor (%)	
	Ilita	Caulinita
K <sub>2</sub> O	8,00	-
SiO <sub>2</sub>	56,00	46,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,50	39,5
H <sub>2</sub> O	5,98	13,96

O procedimento para determinação dos teores de ilita/mica e caulinita, segundo Santos (1998), nas amostras foi o seguinte:

- Toda porcentagem de óxido de potássio, chamada de (K<sub>2</sub>O)<sub>x</sub>, foi atribuída à ilita/mica.
- A porcentagem de ilita/mica em cada amostra era:

$$\%ilita = \frac{(K_2O)_x}{(K_2O)_{p,i}} \cdot 100 \quad (5.2)$$

onde  $(K_2O)_{p,i}$  é a porcentagem de  $K_2O$  na fórmula estrutural padrão da ilita.

→ A porcentagem de alumina da ilita foi dada por:

$$\%(Al_2O_3)_i = \frac{\%ilita \cdot \%(Al_2O_3)_{p,i}}{100} \quad (5.3)$$

onde  $\%(Al_2O_3)_{p,i}$  é porcentagem de alumina na fórmula estrutural padrão da ilita.

→ A porcentagem de alumina da caulinita foi obtida por:

$$\%(Al_2O_3)_c = \%(Al_2O_3)_x - \%(Al_2O_3)_i \quad (5.4)$$

onde  $\%(Al_2O_3)_x$  é a porcentagem de alumina obtida do ataque sulfúrico.

→ A porcentagem de caulinita na amostra foi determinada por:

$$\%caulinita = \frac{\%(Al_2O_3)_c}{\%(Al_2O_3)_{p,c}} \cdot 100 \quad (5.5)$$

onde  $\%(Al_2O_3)_{p,c}$  é a porcentagem da alumina na fórmula estrutural padrão da caulinita.

→ O teor de sílica da caulinita foi dado por:

$$\%(SiO_2)_c = \frac{\%caulinita \cdot \%(SiO_2)_{p,c}}{100} \quad (5.6)$$

onde  $\%(SiO_2)_{p,c}$  é a porcentagem de sílica na fórmula padrão da caulinita.

A Tabela 5.10 mostra os valores determinados para os teores de caulinita e ilita/mica nas amostras de solos e rocha alterada analisadas quimicamente, de acordo com as equações 5.2 a 5.6.

Tabela 5.10 – Teores de illita/mica e caulinita nas amostras de solos e rocha.

Argilomineral	Teor (%)			
	SR1	SR2	SR3	Rocha
Illita/Mica	17,50	23,63	10,00	21,75
Caulinita	40,66	30,71	40,51	28,04

Na análise química parcial, determinou-se também o pH das amostras, em água (H<sub>2</sub>O) e cloreto de potássio (KCl) a fim de medir o índice de acidez do solo. O pH em água pode ser correlacionado com o pH em KCl para se saber a carga líquida que predomina nos colóides. Calcula-se essa carga líquida pela equação 5.7 (EMBRAPA, 1997). O sinal do ΔpH indica qual a predominância de cargas do colóide. Os resultados dessa determinação assim como o pH do solo em H<sub>2</sub>O e KCl estão apresentados na Tabela 5.11.

$$\Delta pH = pH(KCl) - pH(H_2O) \quad (5.7)$$

Tabela 5.11 – Determinação de pH (KCl), pH (H<sub>2</sub>O) e ΔpH

Amostra	pH (KCl)	pH (H <sub>2</sub> O)	ΔpH
SR1	4,7	5,3	-0,6
SR2	4,3	5,5	-1,2
SR3	4,2	5,1	-0,9
Rocha	4,3	5,9	-1,6

Das análises de pH, concluiu-se que todas as amostras são ácidas (pH < 7,0). Após a determinação do valor de ΔpH, pode-se afirmar que os solos e a rocha possuem uma predominância de carga negativa, indicando uma maior capacidade de reter cátions que ânions.

#### 5.4 Curva característica de sucção

A curva característica de sucção, ou de retenção de água, foi obtida através do método do papel filtro, sendo que tal procedimento foi descrito na seção 4.3.

Comumente, a curva característica de sucção característica é apresentada em função do teor de umidade volumétrico, que pode ser correlacionado ao teor de umidade gravimétrico pela equação (5.8).

$$\theta = w \cdot \frac{\gamma_d}{\gamma_w} \quad (5.8)$$

onde  $\theta$  é o teor de umidade volumétrico;  $w$  é o teor de umidade gravimétrico;  $\gamma_d$  é o peso específico seco ( $\text{kN/m}^3$ ); e  $\gamma_w$  é o peso específico da água ( $\text{kN/m}^3$ )

Foram obtidas as curvas características para as amostras de solo SR1, SR2 e SR3, sendo essas apresentadas a seguir (Figura 5.14, Figura 5.15 e Figura 5.16, respectivamente). Observam-se dois pontos de inflexão nas curvas das amostras SR1 e SR2, podendo atribuir esses à existência de uma distribuição bimodal de poros. Tal distribuição é caracterizada por macroporos, que são formados pelos vazios entre os macro-agregados, e por microporos que são formados no interior das agregações. A curva do solo SR3 apresenta apenas um ponto de inflexão, o que leva a crer que não há uma distribuição bimodal dos poros. Vale ressaltar que as curvas mostradas nas figuras foram obtidas a partir de um ajuste numérico proposto por Fredlund e Xing (1994). O procedimento deste ajuste encontra-se explicado no Apêndice B.

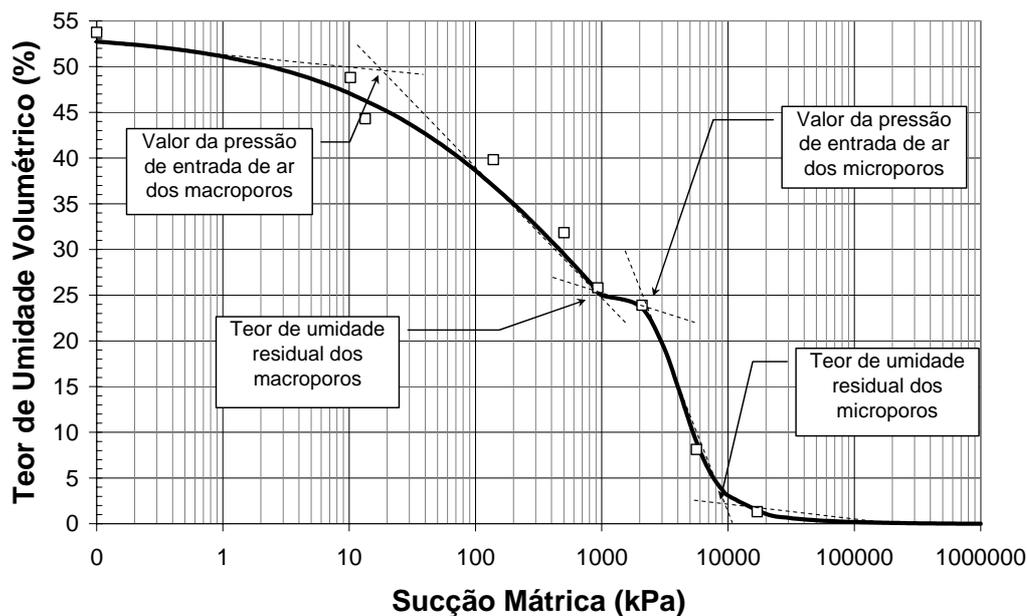


Figura 5.14 – Curva característica de sucção em função do teor de umidade volumétrica – SR1.

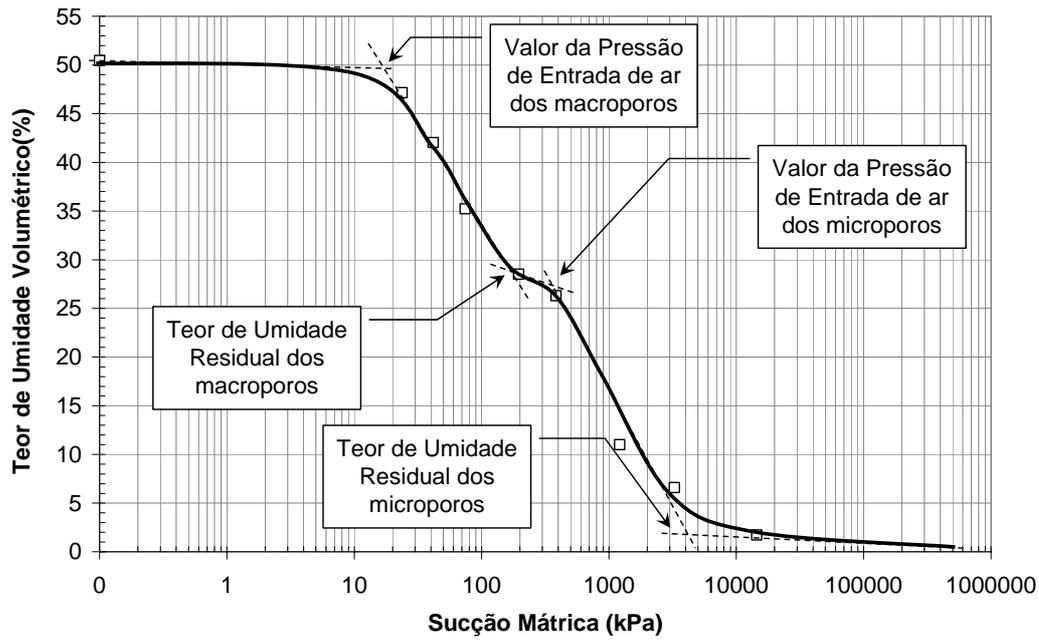


Figura 5.15 – Curva característica de sucção em função do teor de umidade volumétrico – SR2.

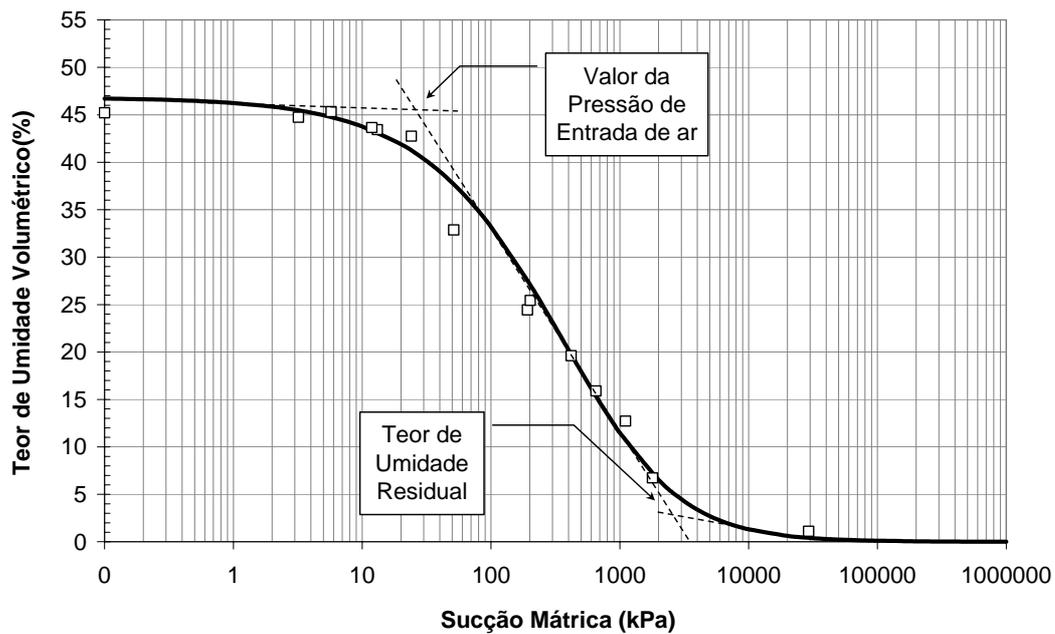


Figura 5.16 – Curva característica de sucção em função do teor de umidade volumétrico – SR3.

A Tabela 5.12 apresenta os valores de entrada de ar ( $\psi_b$ ) dos macroporos e microporos assim como o teor de umidade volumétrico residual ( $\theta_r$ ) relativos àqueles para cada uma das amostras.

Tabela 5.12 – Valores de entrada de ar e teor de umidade volumétrico residual.

SR1				SR2				SR3	
Macroporos		Microporos		Macroporos		Microporos		$\psi_b$ (kPa)	$\theta_r$ (%)
$\psi_b$ (kPa)	$\theta_r$ (%)	$\psi_b$ (kPa)	$\theta_r$ (%)	$\psi_b$ (kPa)	$\theta_r$ (%)	$\psi_b$ (kPa)	$\theta_r$ (%)		
18,0	27,0	900,0	5,0	24,0	30,2	450,0	3,0	27,0	5,0

O valor de entrada de ar nos macroporos no solo SR1 foi menor que o apresentado pelo SR2. O teor de umidade volumétrico residual apresentou comportamento inverso, ou seja, foi maior no SR1 que no SR2. No que diz respeito à pressão de entrada de ar nos microporos, as mesmas observações anteriores são válidas. O teor de umidade volumétrico residual neste caso foi o mesmo. A amostra SR3 apresentou uma pressão de entrada de ar um pouco maior que aquela dos macroporos do SR1 e menor que no solo SR2. A umidade residual do SR3 é praticamente a mesma dos microporos de ambos os solos anteriormente analisados. Ressalta-se que tanto o solo SR2 quanto o SR3 apresentam uma perda brusca de umidade numa mesma faixa de sucção (entre, aproximadamente, 20 e 2000 kPa).

Outras formas de apresentar a curva característica são em função do teor de umidade gravimétrico e do grau de saturação da amostra. Da Figura 5.17 à Figura 5.22 estão apresentadas tais curvas.

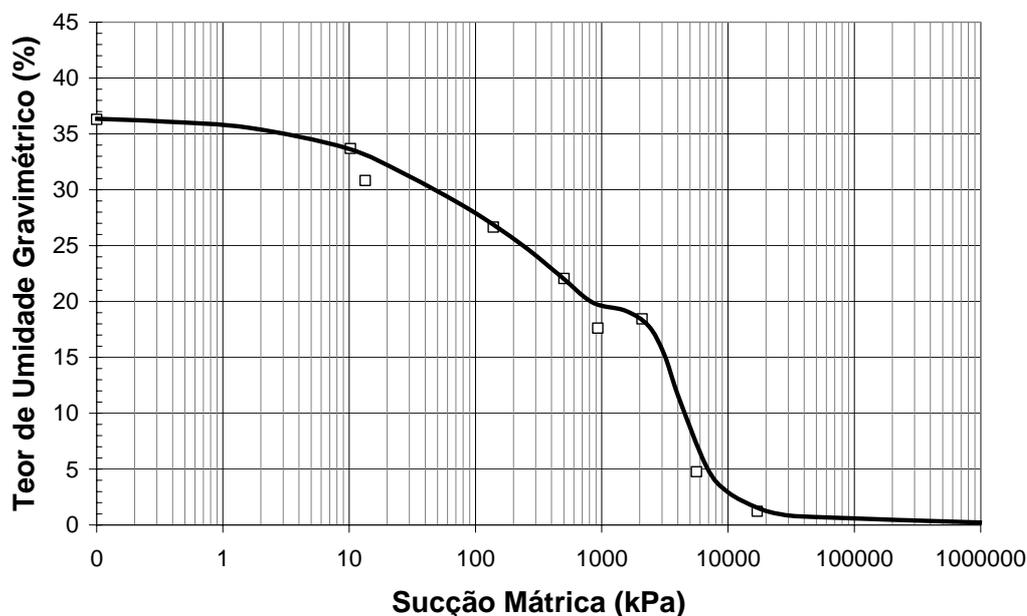


Figura 5.17 – Curva característica de sucção em função do teor de umidade gravimétrico - SR1.

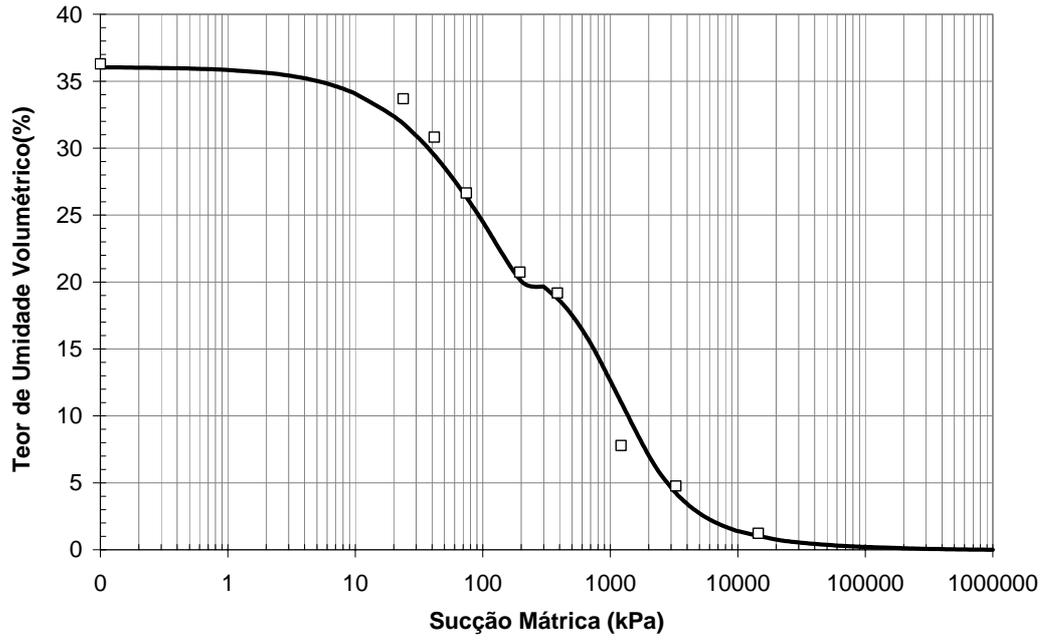


Figura 5.18 - Curva característica de sucção em função do teor de umidade gravimétrico - SR2.

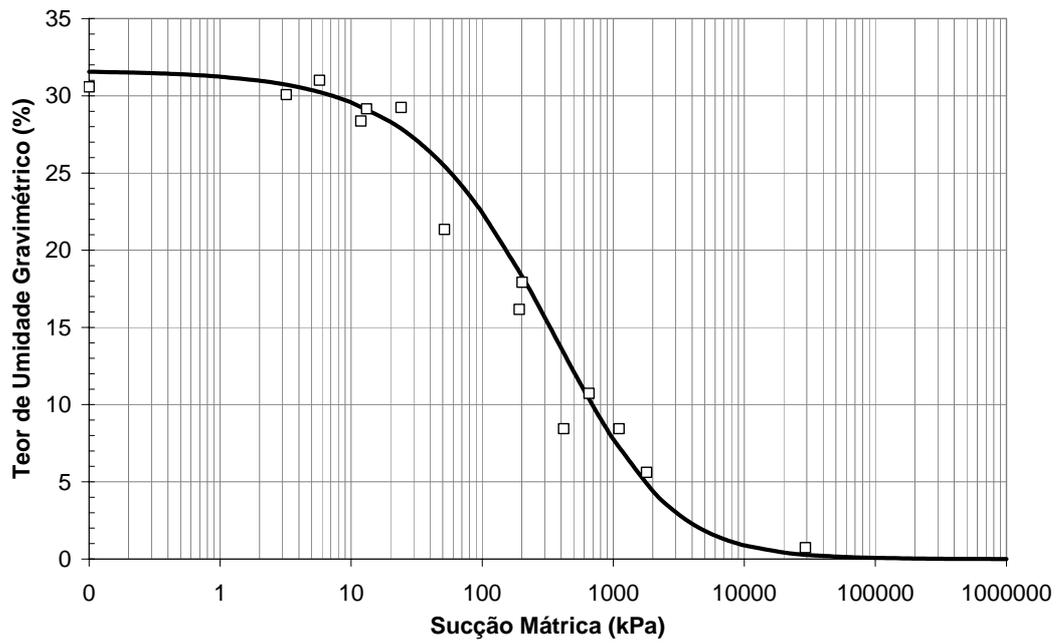


Figura 5.19 - Curva característica de sucção em função do teor de umidade gravimétrico - SR3.

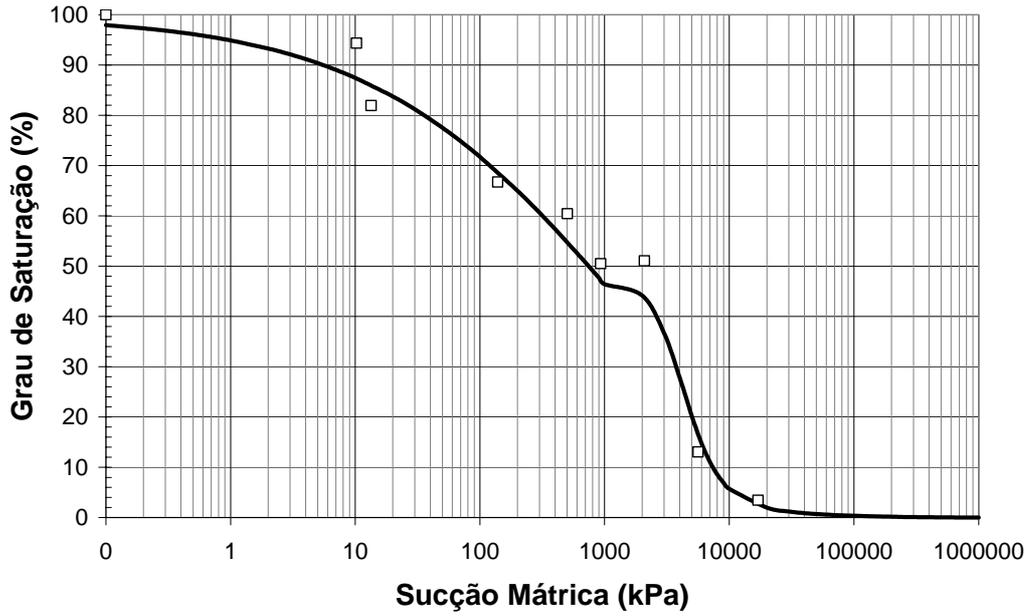


Figura 5.20 – Curva característica de sucção em função do grau de saturação - SR1.

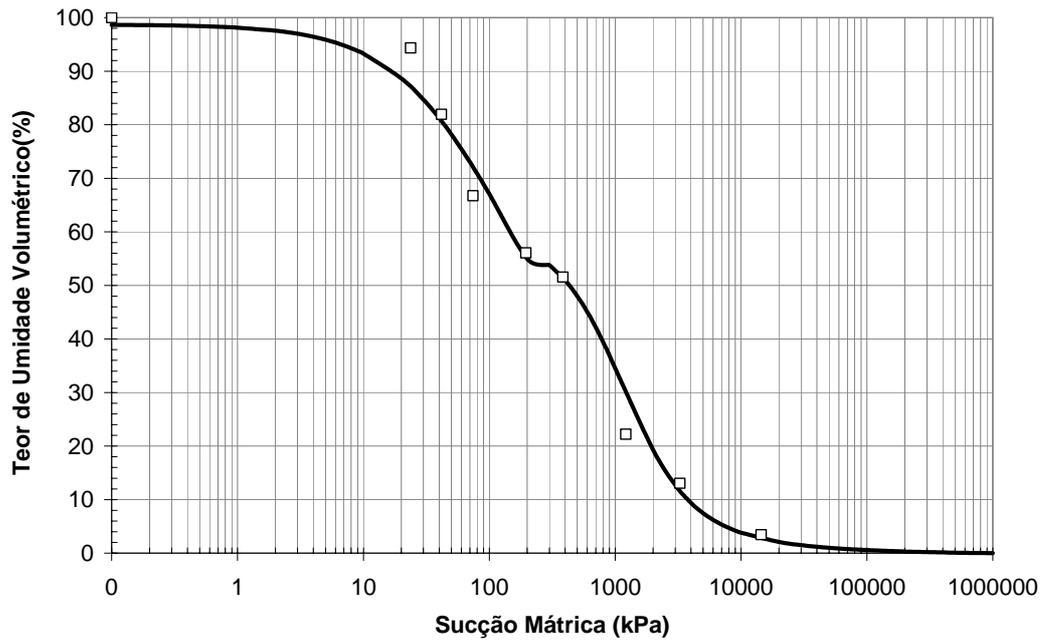


Figura 5.21 – Curva característica de sucção em função do grau de saturação - SR2.

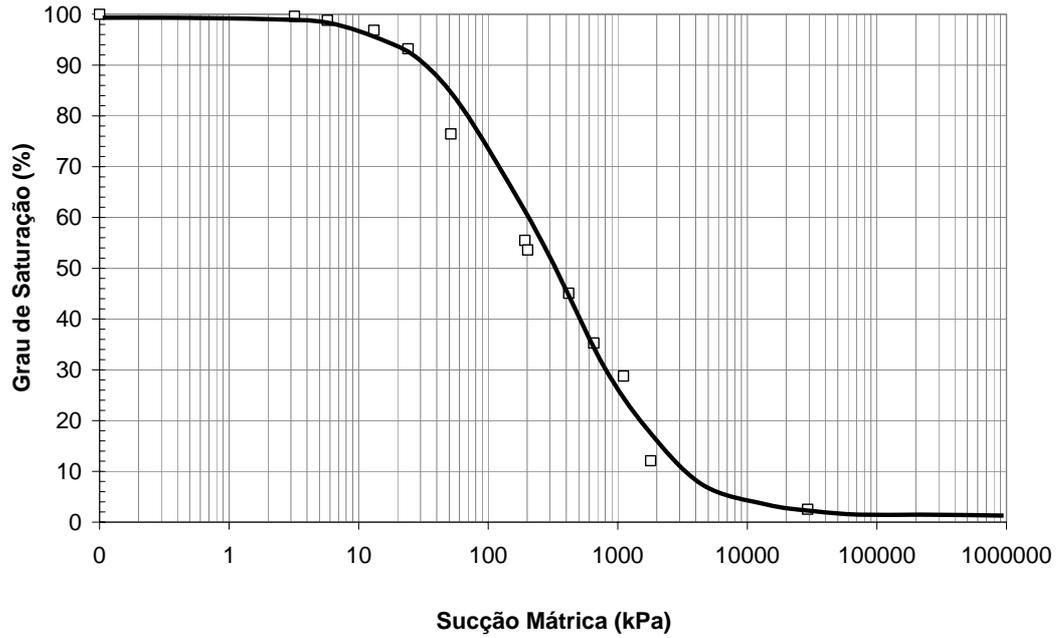


Figura 5.22 – Curva característica de sucção em função do grau de saturação – SR2.

As curvas características dos solos SR2 e SR3 foram usadas para calcular a velocidade de cisalhamento nos ensaios com sucção controlada, segundo proposta de Ho e Fredlund (1982). Nas interpretações dos resultados, fez-se a tentativa de prever o comportamento da resistência ao cisalhamento em função da sucção mátrica, a partir de formulações que usam parâmetros retirados dessas curvas.