

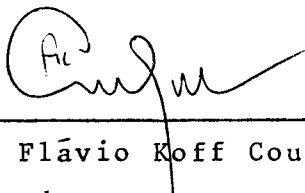
CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E ANÁLISE ESTATÍSTICA  
DE UM SOLO RESIDUAL DA FORMAÇÃO ROSÁRIO DO SUL  
NA REGIÃO DO IIIº POLO PETROQUÍMICO - RS

JAIR CARLOS KOPPE

Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

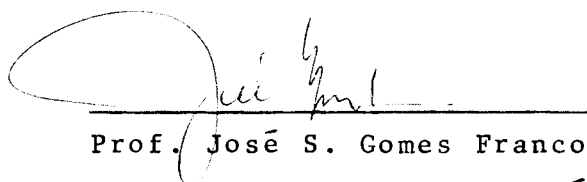
Porto Alegre  
Fevereiro de 1982

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



---

Prof. Flávio Koff Coulon  
Orientador



---

Prof. José S. Gomes Franco  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Eng.Civil

À minha família.

## AGRADECIMENTOS

Aos professores Flávio Koff Coulon e Luis Fernando Nanni pela orientação e apoio recebidos.

Ao professor José Serafim Gomes Franco, coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, pela compreensão e incentivo dados ao longo desse trabalho.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores do Pós-Graduação, especialmente aos da área de Mecânica dos Solos, pelos ensinamentos e apoios prestados.

A todos os amigos que colaboraram de forma direta ou indireta na execução deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
RESUMO.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Objetivos e Finalidades.....	1
1.2 - Localização da Área Estudada.....	1
1.3 - Fisiografia.....	2
1.3.1 - Clima.....	2
1.3.2 - Vegetação.....	2
1.3.3 - Geomorfologia.....	2
1.4 - Hidrogeologia.....	7
1.5 - Aspectos Agrogeológicos.....	7
1.6 - Aspectos Ambientais.....	8
2. GEOLOGIA REGIONAL.....	9
2.1 - Trabalhos Anteriores.....	9
2.2 - Estratigrafia.....	9
2.3 - Descrição das Unidades Estratigráficas.....	12
2.3.1 - Formação Rosário do Sul.....	12
2.3.2 - Formação Botucatu.....	13
2.3.3 - Formação Serra Geral.....	13
2.3.4 - Depósitos recentes.....	13
2.4 - Mapa Geológico.....	14
2.5 - Aspectos Tectônicos da Região.....	14
3. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	16
3.1 - Considerações Gerais.....	16
3.2 - Solo Residual da Formação Rosário do Sul.....	17
3.3 - Solo Transportado Arenoso.....	23
3.4 - Solo Transportado Argiloso.....	23

3.5 - Água Subterrânea.....	23
4. ENSAIOS GEOTÉCNICOS - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	25
4.1 - Considerações Gerais.....	25
4.2 - Coleta de Dados e Ensaio de Laboratório.....	25
4.2.1 - Amostragem e preparação.....	25
4.2.2 - Análise granulométrica.....	26
4.2.3 - Limites de Atterberg e peso específico dos grãos.....	26
4.2.4 - Análise de argilas.....	26
4.2.5 - Ensaio de adensamento.....	27
4.2.6 - Ensaio triaxiais.....	27
4.2.7 - Ensaio de compactação.....	27
4.3 - Ensaio de Campo.....	27
4.3.1 - Standard Penetration Test (SPT).....	27
4.3.2 - Cone Penetration Test (CPT).....	28
4.3.3 - Ensaio pressiométricos.....	28
4.4 - Resultados.....	29
4.4.1 - Resultados dos ensaios de caracterização..	29
4.4.2 - Resultados da análise de raios-X das argilas.....	36
4.4.3 - Resultados dos ensaios de adensamento.....	38
4.4.4 - Resultados dos ensaios triaxiais.....	47
4.4.5 - Resultados dos ensaios de compactação.....	55
4.4.6 - Resultados dos Ensaio de Penetração Dinâmica (SPT).....	60
4.4.7 - Resultados dos Ensaio de Penetração Estática (CPT).....	61
4.4.8 - Resultados dos ensaios pressiométricos....	61
5. ANÁLISE ESTATÍSTICA E CORRELAÇÕES ENTRE OS ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO.....	63
5.1 - Considerações Gerais.....	63
5.2 - Análise Estatística dos Ensaio de Laboratório....	63
5.2.1 - Diagrama de controle de qualidade dos ensaio executados.....	64

5.2.2	- Determinação da média $\bar{X}$ e desvio padrão $S_c$ ...	65
5.2.3	- Resultados da análise das médias e dos desvios padrão.....	67
5.2.4	- Estimação de parâmetros por intervalo de confiança.....	78
5.2.5	- Análises dos intervalos de confiança, médias, desvio padrão e coeficiente de variação usando todas as amostras.....	78
5.3	- Correlações entre os Ensaios de Campo e Laboratório.....	83
5.3.1	- Considerações a respeito da análise estatística adotada.....	83
5.3.2	- Correlação entre o índice de resistência à penetração (N) e a resistência de ponta (Rp).....	84
5.3.3	- Correlação entre o índice de compressão (Cc) e o índice de vazios (e).....	93
5.3.4	- Correlação entre o índice de expansão (Ce) e o índice de plasticidade (Ip).....	95
5.3.5	- Correlação entre o índice de resistência à penetração (N) e o ângulo de atrito determinado no ensaio triaxial ( $\phi_T$ ).....	97
5.3.6	- Correlação entre o índice de resistência à penetração (N) e o índice de capacidade de carga (C).....	99
5.3.7	- Correlação entre o índice de resistência à penetração (N), a tensão vertical ( $\sigma_v$ ), a coesão efetiva (c') e o ângulo de atrito efetivo ( $\phi'$ ).....	100
5.3.8	- Análise dos resultados obtidos nos ensaios pressiométricos.....	102
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	104
7.	ANEXOS.....	109
	BIBLIOGRAFIA.....	117

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág
1	Mapa de localização e distribuição dos sedimentos da Formação Rosário do Sul..... 3
2	Mapa da divisão climática do Rio Grande do Sul..... 4
3	Mapa geomorfológico do Rio Grande do Sul..... 6
4	Perfil de sondagens à percussão com circulação de água em solo residual da Formação Rosário do Sul, sondagem S-297/78, cota 32,65 (metros)..... 19
5	Perfil de sondagens à percussão com circulação de água em solo residual da Formação Rosário do Sul, sondagem S-385/78, cota 29,10 (metros)..... 20
6	Perfil de sondagens à percussão com circulação de água em solo residual da Formação Rosário do Sul, sondagem S-612/79, cota 33,10 (metros)..... 21
7	Perfil longitudinal no solo residual da Formação Rosário do Sul..... 22
8	Área de ocorrência das faixas granulométricas do solo residual da Formação Rosário do Sul. Região do IIIº Polo Petroquímico..... 35
9	Posição das amostras no gráfico das plasticidades de CASAGRANDE..... 37
10	Difratograma da amostra S-11-A2 pertencente ao solo residual da Formação Rosário do Sul. Nota-se a predominância de caolinita (K)..... 39
11	Difratograma da amostra S-11-A4 pertencente ao solo residual da Formação Rosário do Sul. Nota-se predominância da caolinita (K) e traços de montmorilonita (M)..... 40



12	Difratograma da amostra S-11-A7 pertencente ao solo residual da Formação Rosário do Sul. Nota-se predominância de montmorilonita (M) e secundariamente caolinita (K).....	41
13	Difratograma da amostra S-18-A4 pertencente ao solo residual da Formação Rosário do Sul. Nota-se predominância de caolinita (K), secundariamente ilita-montmorilonita (I-M) e montmorilonita (M).....	42
14	Difratograma da amostra S-18-A8 percentence ao solo residual da Formação Rosário do Sul. Nota-se predominância de montmorilonita (M) e secundariamente caolinita (K).....	43
15	Difratograma da amostra S-22-A4 pertencente ao solo residual da Formação Rosário do Sul. Nota-se predominância de caolinita (K) e traços de ilita (I).....	44
16	Resultado de um ensaio de adensamento de solo residual da Formação Rosário do Sul, sondagem S-201/78, amostra dois (2).....	48
17	Resultado do ensaio de compressão triaxial, tipo CU com medida de pressão neutra. Sondagem S-213/78, amostra um (1).....	57
17a	Resultado do ensaio de compressão triaxial, tipo CU com medida de pressão neutra. Sondagem S-213/78, amostra um (1).....	58
18	Diagrama de controle de qualidade para quantidade de areia (S).....	69
19	Diagrama de controle de qualidade para quantidade de silte (u) e argila (c).....	69
20	Diagrama de controle de qualidade para peso específico.....	70
21	Diagrama de controle de qualidade para massa específica aparente da amostra úmida.....	70

Figura	Pág
22	Diagrama de controle de qualidade para a massa específica aparente da amostra seca.....71
23	Diagrama de controle de qualidade para o limite de liquidez.....71
24	Diagrama de controle de qualidade para o limite de plasticidade.....72
25	Diagrama de controle de qualidade para o índice de plasticidade.....72
26	Diagrama de controle de qualidade para o índice de vazios.....73
27	Diagrama de controle de qualidade para o índice de compressão.....73
28	Diagrama de controle de qualidade para o índice de expansão.....74
29	Diagrama de controle de qualidade para a coesão.....74
30	Diagrama de controle de qualidade para a coesão efetiva.....75
31	Diagrama de controle de qualidade para o ângulo de atrito.....75
32	Distribuição dos resíduos (60 valores).....86
33	Distribuição dos resíduos sem os valores extremos (58 valores).....87
34	Relação entre a resistência de ponta ( $R_p$ - CPT) e o índice de resistência à penetração ( $N$ - SPT) no solo residual da Formação Rosário do Sul.....90
35	Relação entre a resistência de ponta ( $R_p$ - CPT) e o índice de resistência à penetração ( $N$ ), para 58 valores.....91
36	Relação entre a taxa de trabalho e a reta de correlação entre $N$ e $R_p$ em solo residual da Formação Rosário do Sul.....92

Figura	Pág
37	Relação entre o índice de compressão ( $C_c$ ) e o índice de vazios ( $e$ )..... 94
38	Relação entre o índice de expansão ( $C_e$ ) e o índice de plasticidade ( $I_p$ )..... 96
39	Relação entre o ângulo de atrito determinado no ensaio triaxial ( $\phi_T$ ) e o índice de resistência à penetração $N$ ..... 98
40	Relação entre o índice de capacidade de carga e o índice de resistência à penetração.....101

#### Anexo

01	Dados do programa de regressão linear simples para os ensaios SPT x CPT.....110
02	Dados do programa de regressão linear simples para $C_c$ x $e$ .....112
03	Dados do programa de regressão linear simples para $C_e$ x $I_p$ .....113
04	Dados do programa de regressão linear simples para $N$ x $\phi_T$ .....114
05	Dados do programa de regressão linear simples para $C$ x $N$ .....115
06	Dados do programa de regressão linear múltipla para $\phi' = f(N, \sigma_v, c')$ .....116

## RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de ensaios geotécnicos de laboratório e de campo realizados em um solo residual da Formação Rosário do Sul nas localidades de Triunfo, Montenegro e Canoas, no Complexo Industrial denominado de IIIº Polo Petroquímico. Além disso, contém uma análise estatística e correlações entre os ensaios de laboratório e de campo. Foram analisados ensaios de caracterização, adensamento, triaxiais, compactação, sondagens a percussão com circulação d'água com ensaio de penetração dinâmica, sondagens mistas, ensaios de penetração estática e ensaios pressiométricos.

A análise demonstrou que este solo é constituído predominantemente por material de granulação fina - argila e silte - com variadas proporções de areia fina, apresenta grande heterogeneidade, ora com alta plasticidade, ora com baixa plasticidade, as camadas tem consistência média a mole com níveis de elevada resistência. A composição mineralógica compreende essencialmente quartzo, feldspatos e argilo minerais, com pequenas quantidades de minerais pesados. Localmente a presença de argilas expansivas impede a sua utilização como material de aterro. As fundações recomendadas para este solo são as estacas.

Diagramas de controle de qualidade foram usados para determinar medições dentro de um intervalo de variabilidade aceitável: média geral mais ou menos três desvios padrão. Após a constatação da distribuição normal dos dados analisados, intervalos de confiança a 95% de probabilidade foram obtidos para todos os parâmetros. Métodos de regressão linear simples e múltipla foram usados avaliando-se o significado estatístico dos coeficientes correspondentes.

## ABSTRACT

This work presents the results of field and laboratory geotechnical tests performed on residual soils of the Rosário do Sul Formation from an area covering the municipalities of Triunfo, Montenegro and Canoas, where the so-called Third Polo Petrochemical Industrial Complex is located. Statistical methods were used to estimate parameters by means of confidence intervals and to evaluate relations by means of regression analysis using field and laboratory data. The following tests were analysed: characterization, consolidation, triaxial, compaction, standard penetration, mixed soundings, cone penetration and pressure meter.

The analysis shows that this soil is made up primarily of fine granulometric components, clay and silt with proportions of fine sand and quite heterogenous, being either of low or high plasticity. The consistency of the layers vary from medium to soft, with high resistance levels. The mineralogical components of this soil are essentially quartz, feldspar and clay minerals with a small quantity of heavy minerals. Locally the presence of expansive clays impedes its use as a filling material. The use of pile foundation is recommended for this type of soil.

Quality control diagrams were used to detect measurements that were outside the acceptable interval of variability: overall mean plus or minus three standard deviations. After being satisfied that the normal distribution applies, 95% confidence interval estimates were obtained for all the parameters, linear and multiple regression methods were used and the statistical significance of the corresponding coefficients were evaluated.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 - Objetivos e Finalidades

Pretende-se neste trabalho caracterizar geotecnica-mente os solos residuais de rochas sedimentares pertencentes a Formação Rosário do Sul e aflorantes na região que engloba o complexo industrial do IIIº Polo Petroquímico, nos municípios de Triunfo, Montenegro e Canoas, no Estado do Rio Grande do Sul, bem como analisar estatisticamente os dados existentes e tentar correlacioná-los.

A existência de grande quantidade de dados na região estudada, a expressão regional da distribuição dos sedimentitos da Formação Rosário do Sul, a grande quantidade de obras civís (como barragens, estradas e distritos industriais) e a possibilidade de estender o presente estudo para outras áreas de ocorrência de solo residual da referida formação, levaram à execução deste trabalho.

Procurou-se dar um enfoque no sentido do aproveitamento prático dos dados analisados e interpretados, tendo por finalidade contribuir para o estudo de implantação de obras civís nas áreas que apresentem os sedimentitos da Formação Rosário do Sul. Deve-se salientar que esses estudos servirão como orientação geral, não dispensando uma investigação prévia localizada para cada nova obra.

### 1.2 - Localização da Área Estudada

O Polo Petroquímico do Rio Grande do Sul está localizado entre os municípios de Montenegro, Triunfo e Canoas, ocupando uma área de aproximadamente 14.600 hectares. A área de estudo faz parte do Complexo Básico do Polo Petroquímico que abrange cerca de 1.800 hectares.

O Complexo Básico, distante 50 km de Porto Alegre, é servido pela rodovia BR-386/Tabaí-Canoas que liga a Grande

Porto Alegre ao noroeste do Estado e pelas ferrovias EF-116 (Porto Alegre-Lages-São Paulo) e EF-290 (Porto Alegre-Santa Maria-Uruguaiana-Rio Grande), além dos rios Caí e Jacuí, hidrovias naturais que banham a área.

Através da figura 1 podemos observar melhor a localização do Polo Petroquímico e especificamente o Complexo Básico, onde foram recolhidos os dados que integram este trabalho.

### 1.3 - Fisiografia

#### 1.3.1 - Clima

A área estudada está localizada dentro da região climática denominada Depressão Central (figura 2), apresentando um clima do tipo subtropical ou virginiano, classificação baseada em KOEPEN (1948) e adotada por MORENO (1961)<sup>31</sup> para o Rio Grande do Sul.

Segundo dados do INCRA (1972), as temperaturas médias anuais giram em torno de 22 a 23 graus centígrados, sendo que no inverno as médias das mínimas temperaturas são menores do que 14 graus centígrados e no verão as médias das máximas temperaturas giram em torno de 24 a 26 graus centígrados.

As precipitações pluviométricas atingem valores médios em torno de 1456 a 1600 mm, considerando-se um período de 30 anos, com umidades relativas anuais superiores a 80%, chovendo cerca de 130 a 150 dias por ano, segundo o INCRA (ob. cit). Os meses mais chuvosos são os de maio e junho e os menos são os de novembro e dezembro.

#### 1.3.2 - Vegetação

O IIIº Polo Petroquímico encontra-se recoberto, em sua maior parte, por uma vegetação rasteira constituída por gramíneas altas, médias e curtas, desenvolvendo-se ainda com certa intensidade as matas ciliares.

#### 1.3.3 - Geomorfologia

CARRARO et alii (1974)<sup>9</sup> dividem o Rio Grande do Sul em quatro províncias geomorfológicas, de acordo com as suas ca

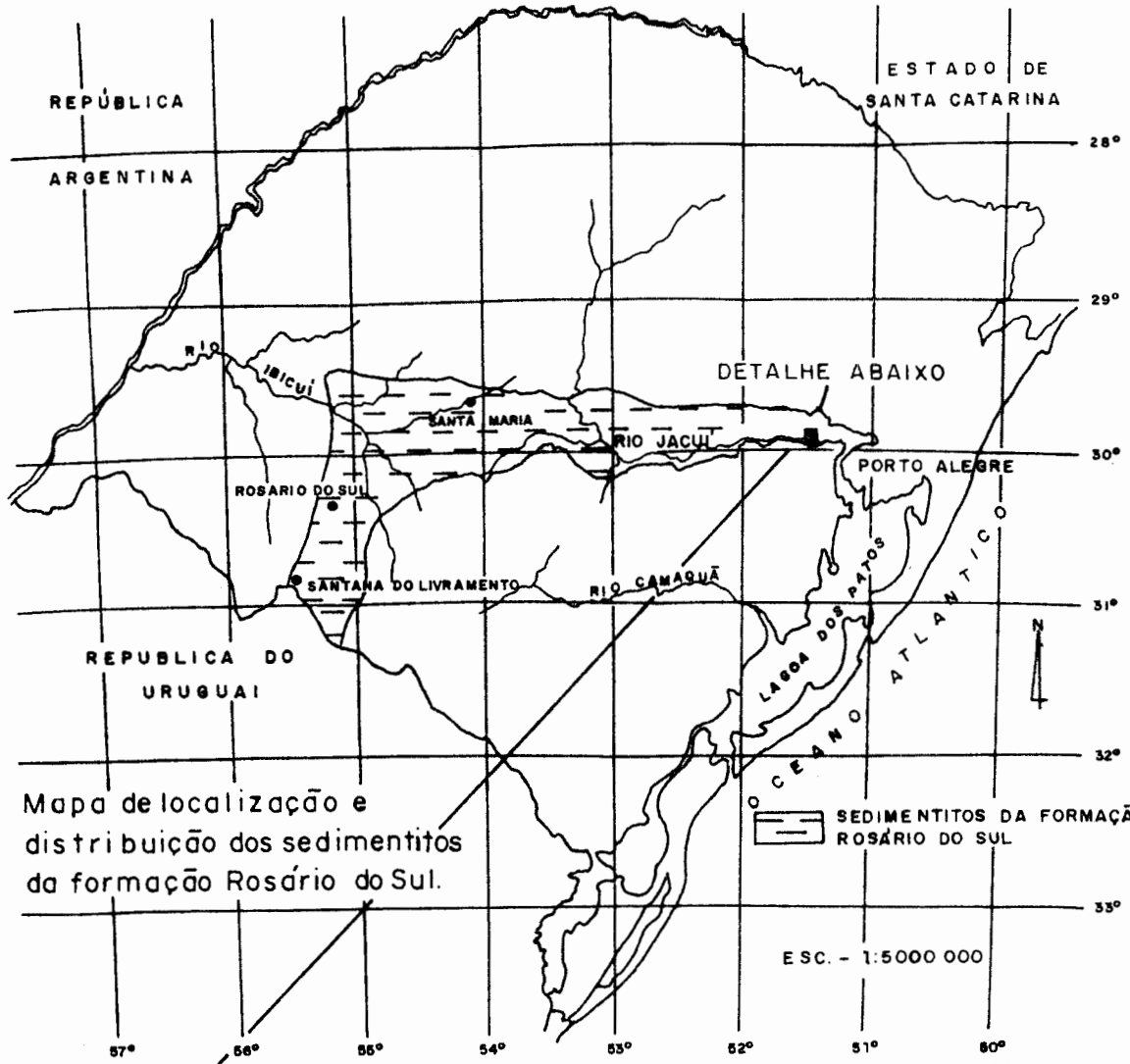
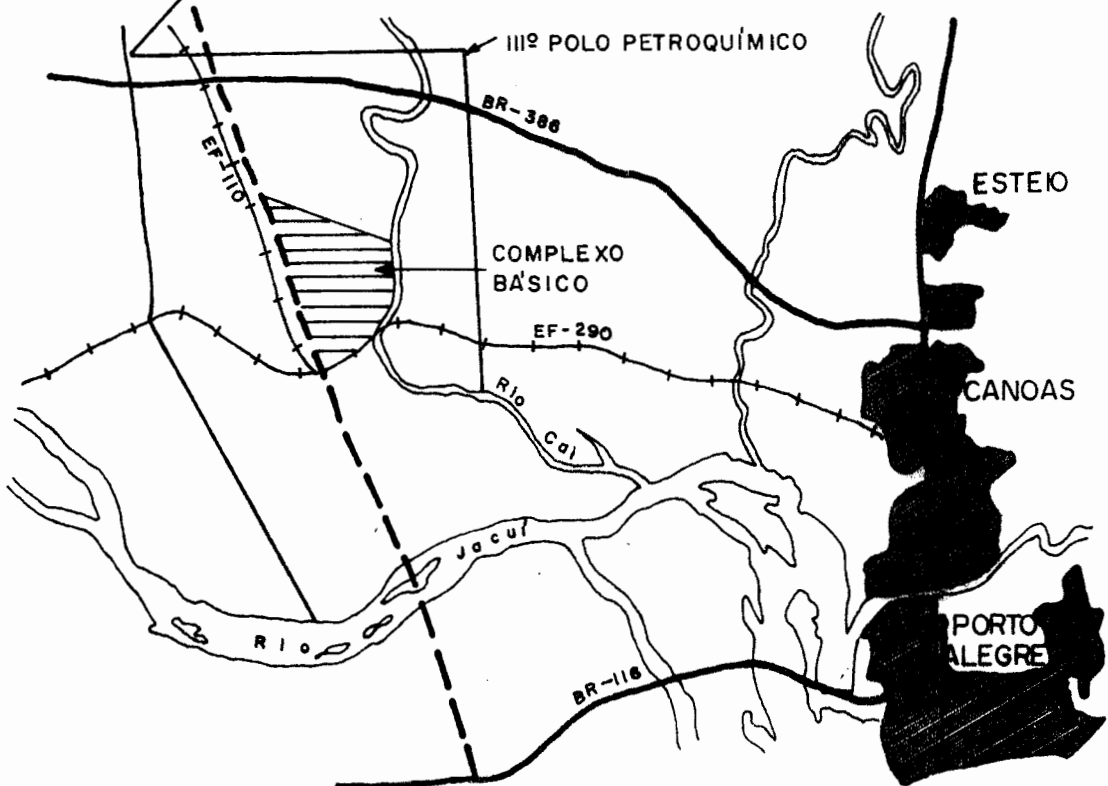
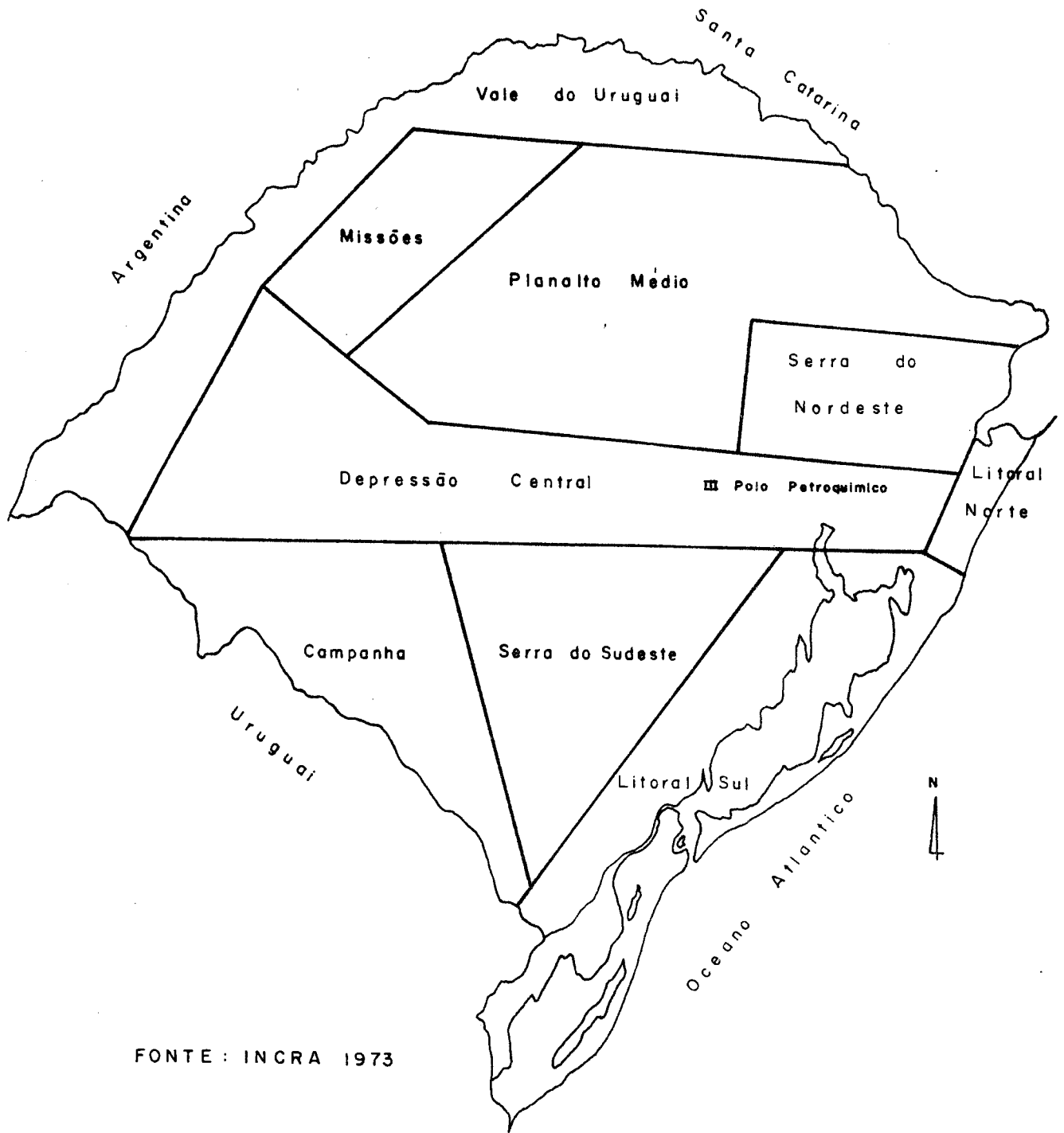


Fig:1 Mapa de localização e distribuição dos sedimentos da formação Rosário do Sul.

BASEADO EM PINTO ET ALI (1966)







FONTE : INCRA 1973

ESC - 1 : 4 000 000

Fig:2- Mapa da divisão climática do Rio Grande do Sul.

racterísticas morfológicas e litológicas (figura 3), são elas:

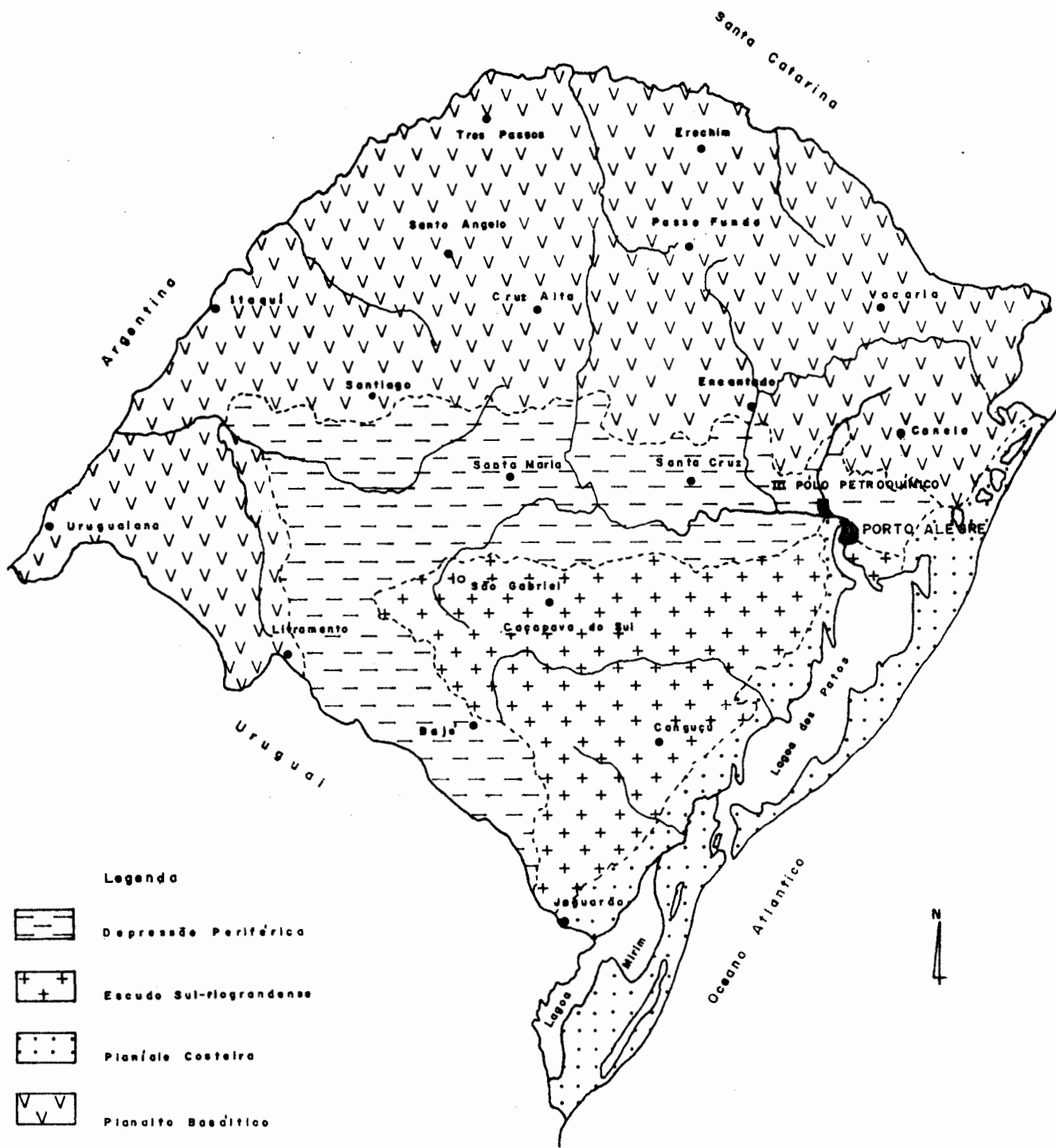
- a) Planalto
- b) Depressão Periférica
- c) Escudo Sul Riograndense
- d) Planície Costeira

A área de estudo situa-se na província denominada de Depressão Periférica, caracterizada litologicamente pela presença de rochas sedimentares pertencentes à Bacia do Paraná e por formas de relevo suave, esporadicamente apresentando formas abruptas. Ocorrem ainda, com menor expressão, sedimentos pertencentes ao quaternário e pequenas intrusões de rochas básicas, quebrando a monotonia do relevo.

A maior parte da área está caracterizada pelas formas de relevo mamelonares ou arredondadas, com vertentes suaves e convexas, coincidindo com as litologias pertencentes à Formação Rosário do Sul. Na área de sedimentos quaternários, temos a presença de um relevo acentuadamente plano, com ausência de elevações sistemáticas; eventualmente ocorre a presença de formas tabulares relativamente elevadas, representadas por intrusões de rochas básicas.

As maiores altitudes da região não ultrapassam a 100 metros e as menores atingem valores inferiores a 10 metros.

Foram registradas áreas com erosão de solos e desenvolvimento de ravinamentos. Não se constatou a ocorrência de deslizamentos ou escorregamentos naturais. No entanto, nas zonas onde foram feitos cortes de estrada, em algumas delas observa-se a ruptura dos taludes, erosão e escorregamentos; também alguns aterros feitos com o material da região apresentavam sinais de ruptura e erosão. Podemos atribuir como causas destes eventos o acentuado ângulo de inclinação dos taludes, a falta de proteção dos mesmos contra as chuvas, tendo em vista que a região apresenta um índice pluviométrico bastante elevado e a presença de argilas expansivas no solo residual da Formação Rosário do Sul.



Legenda



Depressão Periférica



Escudo Sul-riograndense



Planície Costeira



Planalto Basáltico

ESC. — 1 : 4 000 000

FONTE: CARRARO ET ALII (1974)

Fig:3 Mapa geomorfológico do Rio Grande do Sul.

#### 1.4 - Hidrogeologia

A área de estudo está localizada na bacia hidrográfica do Rio Jacuí que corre a cerca de 2 quilômetros ao sul da mesma, sendo que a leste temos o rio Caí, correndo de norte para sul, numa extensão superior a 17 quilômetros. Arroios de pequena expressão cortam a área no sentido leste-oeste, complementando os recursos hídricos naturais superficiais.

Além de servirem como hidrovias naturais, os rios Jacuí e Caí tornam-se importantes fontes de abastecimento de água para a região, tendo em vista que o consumo de água previsto com a implantação do IIIº Polo Petroquímico será muito acentuado e os recursos de água subterrânea são muito limitados na região.

Em alguns trechos, o rio Caí apresenta um certo encaixamento devido ao efeito da tectônica imposta à área, provavelmente devido à reativação de falhas antigas.

Ao sul-sudeste da área ocorre a presença de banhados de grande expressão que no inverno atingem os seus níveis mais críticos.

Os recursos hídricos subterrâneos são bastante limitados, tendo em vista as características desfavoráveis dos sedimentitos da Formação Rosário do Sul para o fornecimento de água. Localmente podem comportar-se como bons armazenadores de água; no entanto, não se prestam ao seu fornecimento e por isto mesmo, não se caracterizam como um aquífero.

#### 1.5 - Aspectos Agrogeológicos

Segundo a classificação adotada por COSTA DE LEMOS et alii (1973)<sup>25</sup>, podemos enquadrar os solos ocorrentes na área de estudo como sendo "solos com horizonte B textural e argila de atividade baixa não hidromórficos" tipo "podzólico vermelho amarelo" e "solos com horizonte B textural e argila de atividade alta hidromórficos" tipo "planosol". O primeiro tipo é o de maior ocorrência na área e o efetivamente estudado.

O solo "podzólico vermelho amarelo" caracteriza-se por apresentar o horizonte A relativamente profundo de cor escura, o horizonte B vermelho com textura argilo-arenosa ou arar

gilosa e o horizonte C formado pelo arenito intemperizado de várias colorações. O relevo é ondulado. Tendo em vista a baixa fertilidade natural, o seu uso conveniente seria para culturas perenes, como reflorestamento ou fruticultura ou ainda, pastagens cultivadas. São solos que podem ser facilmente erodidos e que encontram-se recobrimdo a maior parte da área de estudo.

O solo "planosol" caracteriza-se por apresentar o horizonte A superficial escuro com transição abrupta para o horizonte B de cor acinzentada, arenoso e argiloso, e o horizonte C de cor cinza, sendo derivados de sedimentos aluviais recentes. O relevo é plano e ocorrem na extremidade sul da área estudada. Sua utilização pode ser feita na cultura de arroz ou como pastagem.

#### 1.6 - Aspectos Ambientais

Atualmente, as condições ambientais da região do IIIº Polo Petroquímico são boas, excetuando-se a parcial contaminação dos recursos hídricos superficiais dos rios Caí e Jacuí.

Cresce no meio riograndense a preocupação com a poluição ambiental que poderá vir a ocorrer quando o Polo estiver em plena atividade, já que os dejetos serão eliminados através das hidrovias naturais, situação esta que propiciaria uma contaminação ainda maior do Guaíba, ou ainda, despejados diretamente no mar, o que ocasionaria sensível aumento da poluição de nossas praias. A última opção, além de anti-econômica, estaria acompanhada apenas de um tratamento secundário. A opção recomendada por técnicos especializados é lançar, após tratamento terciário, os dejetos além dos locais de captação de água da região, o que diminuiria sensivelmente os riscos de contaminação da população.

Cabe salientar ainda que o controle de poluição elaborado pelos técnicos da COPESUL - Companhia Petroquímica do Sul, obedece os mais rigorosos padrões internacionais, o que contribuirá para diminuir os riscos de poluição ambiental.

## 2. GEOLOGIA REGIONAL

### 2.1 - Trabalhos Anteriores

A maioria dos trabalhos abrangendo a região do IIIº Polo Petroquímico dizem respeito aos aspectos geológicos e poucos trabalhos foram desenvolvidos com o cunho geotécnico.

Destacam-se entre os trabalhos geológicos as obras de GAMERMANN (op. cit.) definindo a Formação Rosário do Sul, o mapeamento geológico do Rio Grande do Sul de CARRARO et alii (op. cit) o mapa geológico de Montenegro elaborado por COULON et alii (1973)<sup>11</sup> e mais recentemente a tese de doutorado de GAMERMANN (1979)<sup>17</sup> envolvendo além da Formação Rosário do Sul, as Formações Estrada Nova e Botucatu.

Os principais trabalhos geotécnicos envolvendo a Formação Rosário do Sul ficam a cargo de COULON (1973)<sup>11</sup> com o mapeamento geotécnico das folhas de Morretes e Montenegro, COULON e HAUSMAN (1978)<sup>12</sup> descrevendo a ocorrência de crateras de desabamento nos sedimentos da Formação Rosário do Sul, CORREA DA SILVA (1976)<sup>39</sup> tratando de aspectos ligados à presença de argilas expansivas, MACIEL FILHO (1977)<sup>28</sup> apresentando tese de mestrado envolvendo arenitos muito finos a médios com alta percentagem de silte e argila de cor vermelha ocorrentes nas proximidades de Santa Maria e pertencentes à Formação Rosário do Sul, porém com pouca extensão na área por ele mapeada e o trabalho de KOPPE e COULON (1981)<sup>22</sup> envolvendo uma análise estatística dos ensaios de penetração estática e dinâmica no solo residual da Formação Rosário do Sul na área do IIIº Polo Petroquímico.

### 2.2 - Estratigrafia

No Quadro 1 está representada a posição estratigráfica da Formação Rosário do Sul na coluna estratigráfica do Rio Grande do Sul, proposta por CARRARO et alii (op. cit.).

QUADRO 1 - Coluna estratigráfica do Rio Grande do Sul

Era	Período	Idade	Grupo Sub-grupo	Formação	Fácies/Membro				
Cenozóico	Quaternário	Holoceno			depósitos recentes				
		Pleistoceno	Patos	Itapua					
					Sta. Vitória				
					Taim				
		Piratini							
	Terciário	Mioceno			Graxaim				
					Gravataí				
					s/denom. (Bacia de Pelotas)				
					Santa Tecla				
					Tupanciretã				
Mesozóico	Cretáceo				intrusões alcalinas				
	Jurásico			São Bento	Serra Geral				
	Triássico				Botucatu				
Paleozóico	Permiano			Passa Dois	Rosário do Sul	Fluvial			
					Estrada Nova	Santa Maria			
				Tiaraju	Irati				
					Tubarão	Guatá	Palermo		
	Itararé	Rio Bonito							
		Cambriano			Camaquã	Suspiro			
	Budô								
	Bom Jardim				Caneleiras				
					Guaritas				
	Cambriano							Sta. Bárbara	Rodeio Velho
								Crespos	Acamp. Velho
	Cambriano				Arroio dos Nobres	Hilário			
Maricã					Vargas				
Pré-Cambriano				Porongos	Mangueirão				
					Vacacaí				
				Cambaí				Cerro Mantiqueiras	
Granitos	Canguçu								
					Encruzilhada				
					Caçapava				
					Sienito Piquiri				
					Anort. Capivarita				

As primeiras apreciações sobre as camadas sedimentares pertencentes à Formação Rosário do Sul foram feitas por WHITE (1906, in GORDON Jr., 1947)<sup>19</sup>, o qual as agrupava no Grupo Rio do Rastro.

BEURLEN, SENA SOBRINHO & MARTINS (1955)<sup>3</sup> modificaram para Santa Maria o nome anteriormente atribuído como Rio do Rastro, abrangendo o pacote de rochas intercalado entre os Grupos Estrada Nova e Botucatu.

GAMERMANN (1973)<sup>18</sup> propõe o nome de Formação Rosário do Sul para as rochas sedimentares compreendidas entre as Formações Estrada Nova e Botucatu abrangendo duas fácies: uma fluvial e de planície de inundação e outra lacustre.

BORTOLUZZI (1974)<sup>5</sup> admite o nome de Rosário do Sul apenas para os estratos inferiores, denominando a fácies lacustre de Santa Maria e a porção superior de Botucatu.

Para uma melhor compreensão deste problema estratigráfico, temos no Quadro 2 a apresentação de uma coluna estratigráfica abrangendo esta situação.

Litologia	GAMERMANN (1973)	BORTOLUZZI (1974)
Arenitos de origem eólica	Formação Botucatu	Formação Botucatu (ss)
Arenitos, lutitos e ruditos de origem fluvial	Formação Rosário do Sul	Formação Botucatu Membro Caturrita
Lutitos vermelhos folhelhos, arenitos, conglomerados		Formação Santa Maria
Arenitos siltosos com lutitos subordinados		Formação Rosário do Sul (ss)

Quadro 2 - Coluna estratigráfica simplificada (baseado em MACIEL FILHO, op. cit.).

Neste trabalho, os dados referem-se apenas aos arenitos siltosos pertencentes à fácies fluvial com lutitos subordi



nados; portanto, de acordo com os dois autores acima referidos, leva o nome de Rosário do Sul.

### 2.3 - Descrição das Unidades Estratigráficas

Apresenta-se a seguir a descrição das unidades que ocorrem na área de mapeamento e suas medições.

#### 2.3.1 - Formação Rosário do Sul

A Formação Rosário do Sul, de idade Triássica, foi proposta por GAMERMANN (ob. cit) para designar o pacote de rochas ocorrentes entre as Formações Estrada Nova e Botucatu.

A referida formação tem expressão regional cobrindo grande área do Rio Grande do Sul. Estende-se desde o município de Gravataí até o município de São Gabriel, ao longo da Depressão Periférica, formando um arco em torno do Escudo Sul Riograndense (figura 1).

Compreende duas fácies distintas: uma fluvial e de planície de inundação; e outra lacustre denominada de Santa Maria.

Na fácies fluvial ocorrem grandes variações litológicas, destacando-se grandes corpos lenticulares de arenitos de cor avermelhada com granulação variando de muito fina e média que, eventualmente, se encaixam ou são recobertos por arenitos muito finos e siltitos.

A composição destes arenitos é principalmente quartzosa com variadas percentagens de feldspatos e fragmentos de lamitos. Poderiam ser classificados como sub-arcoseanos ou como protoquartzitos. De um modo geral, são siltitos com pequenas quantidades de argila e os grãos variam de sub-angulares a arredondados. Minerais pesados como ilmenita, magnetita, granada, turmalina, estauroлита e zircão são freqüentemente encontrados.

Os materiais de planície de inundação podem ser classificados como siltitos arenosos e, eventualmente, siltitos argilosos; freqüentemente são encontradas concreções calcárias.

A fácies lacustre é constituída por uma seqüência de siltitos e folhelhos na porção inferior, seguidos por uma cama

da de lamitos com concreções calcíferas, aparecendo na porção superior arenitos de granulometria variável intercalados com siltitos.

Na área de estudo a Formação Rosário do Sul está representada por uma fácies fluvial e materiais de planície de inundação.

### 2.3.2 - Formação Botucatu

Inicialmente esta formação recebeu a designação de Arenito Botucatu, dada por GONZAGA DE CAMPOS (1889 in CARRARO et alii, op. cit) para os arenitos que se encontravam soto-postos ou intercalados nas lavas basálticas da Formação Serra Geral, apresentando estratificação cruzada de larga escala e características nitidamente eólicas.

Esta formação é constituída por arenitos de granulação fina a média, com grãos sub-angulares e arredondados com superfície fosca, estratificação eólica típica e cores variando do amarelo ao vermelho. Constituída essencialmente por grãos de quartzo, pode localmente apresentar feldspatos. Turmalina, zircão, estauroлита e esfeno são os principais acessórios presentes.

### 2.3.3 - Formação Serra Geral

Esta formação foi assim denominada por WHITE (1908)<sup>4 3</sup> e compreende lavas basálticas, diques e sills de diabásio associados, de idade Jurásico-Cretáceo.

Está representada localmente por pequenos sills de diabásio distribuídos pela periferia da área estudada.

### 2.3.4 - Depósitos Recentes

Os depósitos recentes estão representados por duas unidades distintas, localizadas na parte sul do IIIº Polo Petroquímico. Uma das unidades é representada por areias finas e grossas intercaladas com areias argilosas, argilas arenosas e argilas de origem fluvial, aparecendo em profundidade níveis de cascalho. A outra unidade apresenta predominantemente argilas e algumas areias inconsolidadas, associadas aos

rios Caí e Jacuí. Os sedimentos associados ao último atingem até 10 m de espessura de argila mole e escura, enquanto que os do Rio Caí são levemente arenosos.

Em ambas as unidades o desenvolvimento de solo residual é incipiente e os solos transportados são geralmente portadores de muita matéria orgânica e altamente hidromórficos, porém de pequena espessura.

#### 2.4 - Mapa Geológico

O mapeamento geológico do IIIº Polo Petroquímico foi executado com base nas informações obtidas através das sondagens existentes executadas pela TECNOSOLO S.A., na interpretação de fotografias aéreas (escala 1:60.000), na planta topográfica de Morretes do Serviço Geográfico do Exército, folha SH.22.I-IV-3 escala 1:50.000 e no Mapa Geotécnico das Folhas de Morretes e Montenegro-RS, escala 1:100.000 de COULON (op. cit.)

A área mapeada na escala 1:50.000 (mapa em anexo) está constituída por três unidades litoestratigráficas distintas. A de maior expressão é a Formação Rosário do Sul, representada por alternâncias de arenitos e siltitos de sua fácies fluvial. Seguem pequenos sills de diabásio pertencentes à Formação Serra Geral e depósitos recentes do Quaternário representados por areias finas e grossas intercaladas com areias argilosas, argilas arenosas e argilas de origem fluvial localizadas na parte sul-sudeste da área e ao sul temos a predominância de argilas e algumas areias inconsolidadas.

#### 2.5 - Aspectos Tectônicos da Região

Não foram encontrados indícios de perturbação tectônica nos estratos integrantes da Formação Rosário do Sul, na área estudada. Não se constataram falhas ou fraturas nos trabalhos de campo e nem através de sondagens.

No entanto, por observações de fotografias aéreas, verifica-se que o rio Caí apresenta um controle estrutural na porção nordeste da área, provavelmente indicando a presença de fraturamento na região, possivelmente produto de reativação

tectônica.

Portanto, a atividade tectônica é de pouca expressão, não constituindo problema geotécnico, aparentemente.

### 3. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

#### 3.1 - Considerações Gerais

Um mapeamento geotécnico pode ser compreendido como a delimitação em uma planta de áreas que apresentem características geotécnicas semelhantes, de tal maneira que possa ser utilizada por engenheiros civís ou de minas em obras de engenharia. O seu emprego tem imediata aplicação em obras como estradas, túneis, barragens, distritos industriais, etc.

Não existe, até o presente, uma metodologia e sistemática únicas para o mapeamento geotécnico e estabelecimento de cartas geotécnicas, apesar de que em muitos países este campo tenha apresentado considerável avanço nos últimos anos.

Os critérios adotados neste trabalho não obedecem aos utilizados por outros autores. Procurou-se delimitar as áreas com características geotécnicas afins, utilizando-se simbologia própria e registrando-se também ocorrências de interesse geotécnico específico.

Foram utilizados dados referentes a mais de 800 sondagens a percussão com circulação de água, acompanhadas de ensaios SPT, 3 sondagens mistas, dezenas de ensaios de laboratório abrangendo granulometria, limites de liquidez, limites de plasticidade e massa específica, observações de campo e interpretação de fotografias aéreas (escala 1:60.000).

Aspectos como tipo litológico, estruturas tectogeológicas, espessura e tipo de solo, resistência à erosão e estabilidade de taludes foram levados em consideração na individualização das três unidades geotécnicas de mapeamento aqui adotadas. São elas:

- solo residual da Formação Rosário do Sul
- solo transportado arenoso
- solo transportado argiloso

O mapa geotécnico, em anexo, foi elaborado na esca-

la 1:50.000 utilizando-se como mapa-base a planta topográfica da folha de Morretes, folha SH.22-I-IV-3, do Serviço Geográfico do Exército, constando as unidades geotécnicas de mapeamento e áreas de interesse geotécnico específico.

### 3.2 - Solo Residual da Formação Rosário do Sul

Segundo a ABNT, TB-3, um solo residual pode ser considerado como o material constituinte da crosta terrestre proveniente da decomposição "in situ" das rochas pelos diversos agentes geológicos.

No entanto, a palavra solo tem sido empregada com diversos sentidos quando referida por geólogos, engenheiros civis ou agrônomos. No caso do engenheiro civil, a palavra solo abrange não apenas a definição acima mas também engloba as rochas sedimentares.

Outro problema que surge quando se trata de solo residual é o de individualização de horizontes de solo, sendo que o problema se torna maior com solos residuais de rochas sedimentares já que, geralmente, os trabalhos neste sentido sempre foram feitos a partir de solos desenvolvidos em rochas ígneas ou metamórficas. No presente trabalho não se elaborou a divisão de solo em horizontes definidos, pois, para tal, haveria necessidade de uma sistemática diferente da ora adotada.

Adotou-se como solo residual da Formação Rosário do Sul, ocorrente na região do IIIº Polo Petroquímico, o produto da alteração do pacote de rochas sedimentares que a compõe. Além disso, como critério de separação entre o que seria considerado solo e o que seria considerado rocha sedimentar, foi arbitrado um valor do Índice de resistência à penetração (N, do ensaio SPT). Para os valores de N inferiores a 50, denominou-se o material de solo residual, enquanto que para os valores de N superiores a 50 denominou-se de rocha sedimentar. O valor de N igual a 50 foi escolhido tendo em vista que para valores maiores do que 50, os solos arenosos são considerados muito compactos e os argilosos, duros. O impenetrável à percussão caracterizaria a rocha sedimentar propriamente dita sendo que os valores de N entre 50 e o impenetrável à percus-

são caracterizariam a rocha sedimentar parcialmente alterada.

Deste modo, pode-se caracterizar o solo residual da Formação Rosário do Sul como sendo constituído por um material argilo siltoso com pouca ou muita areia fina, sendo que muitas vezes a fração arenosa sobrepuja a fração argilosa. A fração fina é composta, preferencialmente, por argilas do grupo da caolinita e, secundariamente, por argilas do grupo das esmectitas (algumas vezes predominando) e ilitas. A fração mais grossa é formada por quartzo e pequenas quantidades de feldspatos alcalinos e pesados.

Constituem, em sua maior parte, camadas de consistência média a mole, surgindo, frequentemente, níveis de elevada resistência localizados, geralmente, acima do lençol freático. Esta maior resistência se deve provavelmente a uma cimentação calcítica do material.

A espessura do solo residual varia de poucos metros a mais de 20 metros e uma observação do seu aspecto geral pode ser feita através das figuras 04, 05 e 06 que representam perfis de sondagem à percussão com circulação de água (com ensaio SPT) executadas pela TECNOSOLO S.A. na área de estudo e pela figura 7 que representa um perfil longitudinal.

O solo residual da Formação Rosário do Sul abrange cerca de 50% da área mapeada, constituindo a unidade geotécnica mais importante.

Eventualmente, apresenta boas condições como material de aterro; no entanto, deve-se tomar cuidado com a presença de argilas expansivas e com problemas de erosão apresentados em aterros.

Os cortes apresentam-se de certa forma estáveis; contudo, muitos com inclinação inadequada apresentam-se rompidos. COULON (op. cit.) propõe taludes com 1,5:1 de inclinação para esse material.

Em relação as fundações podemos dizer que o solo apresenta boas condições. No caso específico da implantação do IIIº Polo Petroquímico, o recomendável, em face das cargas distribuídas ao terreno e das características do solo, é a utilização de estacas.







Fig. 6 - Perfil de sondagem à percussão com circulação de água em solo residual da Formação Rosário do Sul, sondagem S 612/79, cota 33,10 (metros).

Cota em relação ao R. N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração: (golpes/30cm)		Gráfico	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	
			Nº de golpes				
			1ª e 2ª	2ª e 3ª			
						Revestimento $\varnothing$ 16,2 mm Amostrador $\varnothing$ interno: 34,9 mm $\varnothing$ externo: 50,8 mm Peso: 65 kg. Altura de queda: 75 cm	
Nível d'água							
+ 30	①		6	10		Aterro - Argila siltosa, plástica, marrom, consistência média.	
	②		1	11		rija	
	③		6	10			
+29,85m	④	4,10	5	3			Argila siltosa, com areia de textura variada, plástica, marrom, muito mole,
	⑤		2	2			
	⑥	6,30	9	8/15			Argila siltosa, plástica, variegada, rija.
	⑦		10	16			
+ 25	⑧	8,00	12	16			Silte argiloso, com areia de textura variada, amarelo, medianamente compacto a pouco compacto.
	⑨		11	16			
	⑩		5	7			
	⑪		5	6			
	⑫	12,00	7	10			
+ 20	⑬		9	12			Silte argiloso, variegado.
	⑭		13	20			
	⑮		23	36			
	⑯	16,00	44/22				Arenito fino a médio, argiloso, variegado.
	⑰		25/6				
+ 15	⑱	18,00	39	50/20			
	⑲		25/10				
	⑳		41/24				Arenito fino, siltoso, rosa.
	㉑		40/28				
	㉒		25/9				
+ 10	㉓	23,00	25/11				Arenito fino a médio, variegado.
		23,90				IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO	

BIBLIOTECA

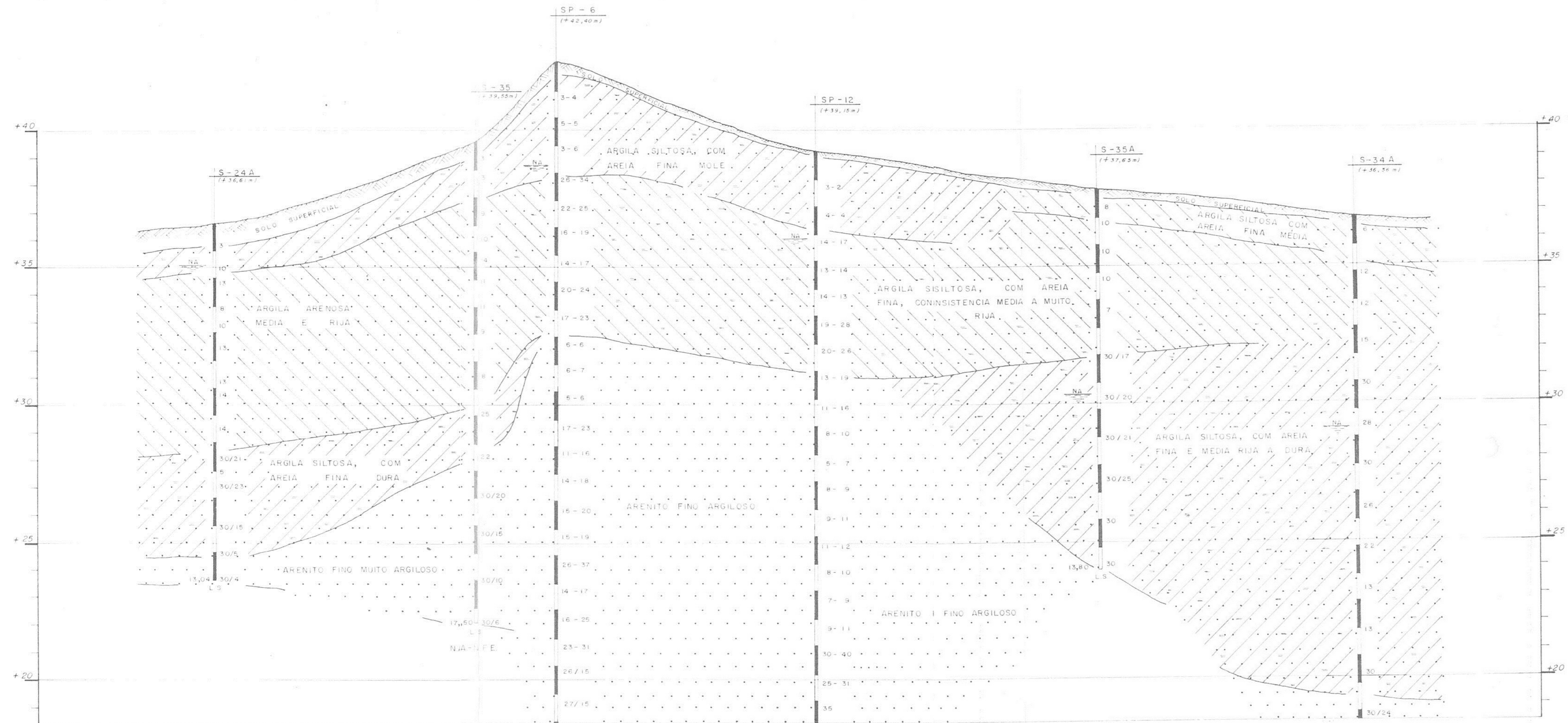


Fig 7 - Perfil longitudinal no solo residual da Formação Rosário do Sul.

Escala: H= 1:2 000  
V= 1: 100

Local: Pólo Petroquímico de Triunfo Central de Matéria Prima.

#### CONVENÇÕES

S - Realizadas pela CIENTEC em 1976  
SP - Realizadas pela TECNOSOLO em 1977.

L.S. - Limite da sondagem.

I.P. - Impenetrável a percussão.

NA - Nível d'água.

N.F.E. - Não foi encontrada o N.A.

### 3.3 - Solo Transportado Arenoso

Esta unidade ocorre nas várzeas dos rios Caí e Jacuí, abrangendo cerca de 30% da área mapeada.

Está constituída por areias finas e grossas, intercaladas com areias argilosas, argilas arenosas e argilas, com alguns níveis de cascalho em profundidade. Apresenta espessura variável, em alguns casos atingindo até 10 metros de profundidade.

Não apresenta qualidades para ser utilizada como material de aterro e tão pouco é recomendável a execução de cortes de grandes dimensões. Apresenta más condições de fundação e até mesmo para obras de pequenas cargas recomenda-se a utilização de estacas, procurando-se no subsolo camadas mais resistentes.

### 3.4 - Solo Transportado Argiloso

Esta unidade compreende cerca de 20% da área mapeada localizando-se nas imediações do rio Jacuí.

Constitue-se predominantemente de argilas, com algumas lentes de areia inconsolidadas, intercaladas. As argilas são moles e escuras, com até 10 metros de espessura.

Não apresenta características para emprego como material de aterro, não sendo também recomendável a execução de cortes de grande envergadura na mesma. Apresenta más condições de fundação sendo recomendável a execução de estacas até mesmo para obras de pequeno porte.

### 3.5 - Água Subterrânea

As possibilidades de obtenção de água subterrânea, na área de estudo, são muito remotas. Nenhuma das três unidades geotécnicas anteriormente referidas possuem boas condições como aquíferos.

O solo residual da Formação Rosário do Sul, devido às características já referidas, não apresenta boas condições de permeabilidade. Da mesma maneira se comporta o solo transportado argiloso, onde a permeabilidade é quase nula e as con

dições de drenagem são péssimas. Desta forma, descarta-se a possibilidade da utilização de água subterrânea nestas unidades.

Em relação a terceira unidade geotécnica (solo transportado arenoso), encontramos ótimas condições de permeabilidade nos locais onde estão presentes lentes de areias grossas, podendo vir a constituir manancial de água subterrânea. No entanto, em vista da localização geográfica desfavorável, torna-se difícil o seu atual aproveitamento.

Quanto aos depósitos da Formação Rosário do Sul presentes em maior profundidade, podemos dizer que também não se prestam como aquíferos, apresentando permeabilidade baixa.

## 4. ENSAIOS GEOTÉCNICOS - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 - Considerações Gerais

Este capítulo tem por finalidade caracterizar geotecnicamente o que se designou por solo residual da Formação Rosário do Sul ocorrente na área do IIIº Polo Petroquímico.

Um dos motivos pelo qual optou-se pela realização deste trabalho é a grande quantidade de informações geotécnicas existentes na região, obtidas através de ensaios de laboratório e de campo realizados por diversas empresas destacando-se entre elas a TECNOSOLO - Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais S.A. e a CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia.

Tendo em vista que muitas vezes os ensaios realizados em laboratórios diferentes a respeito de uma mesma amostra conduzem a resultados distintos, optamos pela escolha dos dados de uma única empresa, a TECNOSOLO S.A., por esta apresentar uma maior quantidade de informações.

Os ensaios de laboratório compreendem análises granulométricas, limites de Atterberg, peso específico dos grãos, ensaios de adensamento, ensaios triaxiais e ensaios de compactação. As análises de mineralogia das argilas pelo método de difração de raios-X foram realizadas pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Os ensaios de campo compreendem ensaios de penetração dinâmica (SPT-Standard Penetration Test), penetração estática (CPT-Cone Penetration Test) e ensaios pressiométricos.

A seguir serão descritos sucintamente os ensaios realizados.

### 4.2 - Coleta de Dados e Ensaio de Laboratório

#### 4.2.1 - Amostragem e Preparação

As amostras deformadas foram coletadas com o amostrador padrão da sondagem a percussão com circulação de água acompanhada do ensaio de penetração dinâmica (SPT) e com auxílio de pá e martelo de geólogo nos trabalhos de identificação de campo das unidades geotécnicas.

As amostras indeformadas foram obtidas através dos amostradores tipo Denison, de três polegadas.

As amostras deformadas foram preparadas para os ensaios de caracterização segundo o método número 27 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT MB-27).

O material para análises de argilas foi recolhido de amostras obtidas com o amostrador padrão da sondagem a percussão com circulação de água.

#### 4.2.2 - Análise Granulométrica

O ensaio de granulometria com sedimentação seguiu as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT MB-32).

#### 4.2.3 - Limites de Atterberg e Peso Específico dos Grãos

Os limites de liquidez e plasticidade foram determinados respectivamente pelos métodos MB-30 e MB-31 da ABNT enquanto que a determinação do peso específico dos grãos foi feita pelo método MB-28 também da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

#### 4.2.4 - Análise de Argilas

Foram analisadas seis amostras de argila, em lâminas orientadas, pelo método de difratometria de raios X, usando-se o material natural, glicolado e calcinado durante 4 horas a 490<sup>o</sup> centígrados. O difratômetro utilizado foi um Phillips No relco com contador Geiger, munido de tubo de cobre com filtro de níquel, de modo a permitir apenas a passagem da radiação  $K_{\alpha}$ . A velocidade de deslocamento do tubo de emissão foi de 29 por minuto e os tempos de integração dos pulsos por segundo foram de 2 e 4 segundos.

#### 4.2.5 - Ensaaios de Adensamento

Os ensaios de adensamento foram realizados segundo método utilizado pela "American Society for Testing Materials -ASTM D.2435-70". A apresentação dos mesmos é feita por intermédio da curva logaritmo da pressão x índice de vazios, sendo que o índice de vazios dessa curva refere-se a 100% do recalque em cada estágio de pressão.

A partir desta curva determinou-se o índice de compressão, o índice de expansão e a pressão máxima intergranular sob a qual o solo esteve previamente adensado (pressão de pré-adensamento).

O coeficiente de adensamento e a permeabilidade do solo foram correlacionados, respectivamente, com a pressão e o índice de vazios final do estágio de pressão correspondente.

#### 4.2.6 - Ensaaios Triaxiais

Os ensaios triaxiais foram executados obedecendo recomendações de BISHOP e HENKEL (1962)<sup>4</sup>. Foram realizados ensaios do tipo CU ("Consolidated Undrained", pré-adensado rápido) com amostra natural e do tipo UU ("Unconsolidated undrained", rápido) com medida de pressão neutra e saturados por contra pressão, usando-se amostras indeformadas obtidas com o amostrador tipo Denison.

#### 4.2.7 - Ensaaios de Compactação

Os ensaios de compactação foram executados pela MAGNA Engenharia Ltda. seguindo as recomendações das normas técnicas da ABNT, MB-33. Envolvem os ensaios normal, intermediário e modificado de Proctor.

### 4.3 - Ensaaios de Campo

#### 4.3.1 - Standard Penetration Test (SPT)

As sondagens foram executadas por percussão com auxílio de circulação de água e protegidas por revestimento de 76,2mm (ou 3") de diâmetro nominal. A extração de amostras foi feita com a cravação do amostrador padrão de 34,9mm (1" e



3/8) de diâmetro interno e 50,8mm (2") de diâmetro externo.

O ensaio SPT foi executado anotando-se o número de golpes de um peso de 65 kg, que cai em queda livre de 75cm de altura, para cravar 30cm do amostrador padrão nas camadas de solo atravessadas.

Através do ensaio pode-se determinar o índice de resistência à penetração, N-SPT, considerando-se o número de golpes necessários para cravar os 30cm finais do amostrador padrão.

#### 4.3.2 - Cone Penetration Test (CPT)

Conhecido também como ensaio de penetração estática, consiste na determinação da resistência oferecida pelo solo à penetração de um cone de  $10\text{cm}^2$  de área da base e com arestas formando um ângulo de  $60^\circ$  com a horizontal (resistência de ponta) e na resistência oferecida pelo solo durante a descida do cone acima descrito, mais a camisa de atrito lateral local e na resistência total  $R_T$  (atrito ao longo do revestimento mais resistência de ponta do cone).

Os ensaios foram executados com aparelhos de 10 e 17,5 toneladas.

#### 4.3.3 - Ensaio Pressiométricos

Os ensaios pressiométricos tem por objetivo determinar, "in situ", as características mecânicas de um solo de fundação, através das relações entre as tensões e as deformações volumétricas do terreno a diversas profundidades.

Essas relações definem o Módulo Pressiométrico  $E$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) e a Pressão Limite de Ruptura do Solo  $P_L$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), parâmetros que são utilizados, respectivamente, em problemas que envolvem a deformabilidade e ruptura dos solos.

Foram utilizados pressiômetros MENARD e sondas pressiométricas de 44 e 60mm de diâmetro, introduzidas em perfurações executadas com equipamento de percussão-trépano e circulação de água, a baixa pressão.

A sonda consiste, basicamente, de uma célula dilatável ligada a sistema que permite a aplicação de pressões e medição de deformações do terreno, através das variações volumé-

tricas da célula.

A partir das curvas pressiométricas obtidas para cada ensaio foram determinados os valores da Pressão Limite de Ruptura  $P_l$  e o Módulo Pressiométrico  $E$ .

#### 4.4 - Resultados

##### 4.4.1 - Resultados dos Ensaios de Caracterização

Os ensaios de caracterização (granulometria, índices de Atterberg, teor de umidade, peso específico dos grãos) e seus resultados estão expressos na tabela 01, na qual é referida a classificação do material conforme o sistema unificado de CASAGRANDE (in LAMBE & WHITMAN, 1979)<sup>24</sup>.

Para uma melhor visualização da classificação de CASAGRANDE (op.cit.), adotada neste trabalho, apresentamos a seguir um quadro simplificado com a respectiva simbologia, envolvendo apenas o material presente nas análises.

Através dos resultados das análises granulométricas expressos na tabela 01, observa-se que o material é classificado pelo sistema unificado em SC, SM, CH, CL, MH e ML, predominando o solo SC com cerca de 31,0%, sendo o solo ML com 3,5% o menos abundante. No global os materiais argilosos e siltosos (CH, CL, MH e ML) dominam sobre os arenosos, participando com cerca de 55% do material total.

As participações das diversas frações acima especificadas estão indicadas no Quadro 04.

Pode-se observar também que não é possível caracterizar categoricamente como dominantes os solos argilo-siltosos, já que as proporções são muito aproximadas. Mas, poder-se-ia dizer que o solo é constituído por material fino, predominando areias finas argilosas secundadas por argilas inorgânicas de alta plasticidade, freqüentemente aparecendo areias finas siltosas, siltes de alta plasticidade e argilas de baixa plasticidade. Constituem, portanto, um solo bastante heterogêneo, com variações granulométricas laterais e verticais. Na figura 8 está representada a faixa que engloba as curvas gra-

## QUADRO 03 - Classificação unificada de CASAGRANDE (simplificada)

Solos de grãos grosseiros:  $> 0,074$  mm

- Areias SW : Areias bem graduadas, areias com pedregulho, com pouco ou sem finos
- SP : Areias mal graduadas, areias com pedregulho, com pouco ou com finos
- SM : Areias siltosas, misturas pobremente graduadas de areia e silte
- SC : Areias argilosas, misturas pobremente graduadas de areia e argila

Solos de grãos finos:  $< 0,074$  mm

Siltes e argilas com  $LL < 50$

- ML : Siltes inorgânicos e areias muito finas, areias finas argilosas e siltosas, areias finas argilosas e siltosas de baixa plasticidade
- CL : Argilas inorgânicas de plasticidade baixa a média, argilas com pedregulhos, argilas arenosas, argilas siltosas e argilas magras
- OL : Siltes orgânicos, siltes e argilas de baixa plasticidade

Siltes e argilas com  $LL > 50$

- MH : Siltes inorgânicos, areias finas ou siltes micéceos ou diatomáceas
- CH : Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas
- OH : Argilas orgânicas de média a alta plasticidade
- Pt : Turfa e outros solos altamente orgânicos

TABELA 01 - Ensaaios de caracterização

Furo	Amostra	Granulometria (%)				LL (%)	LP (%)	IP (%)	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Classificação sist. unificado	Teor de umidade (%)
		S	M	C	M+C						
205/78	4-8	45	14	41	55	67	32	35	2,64	CH	38
206/78	3-6	45	15	40	55	69	37	32	2,73	MH	29
206/78	9-13	67	8	25	33	50	23	27	2,65	SC	39
207/78	3-5	42	18	40	58	55	37	18	2,63	MH	21
207/78	6-11	50	10	40	50	72	48	24	2,66	SM	40
207/78	12-14	61	12	27	39	69	36	33	2,68	SM	35
208/78	4-6	47	21	32	53	46	24	22	2,65	CL	25
208/78	9-10	36	12	52	64	69	45	24	2,62	MH	28
208/78	11-15	71	7	22	29	43	33	10	2,67	SM	37
209/78	4-6	33	15	52	67	72	32	40	2,61	CH	40
209/78	8-10	43	15	42	57	61	33	28	2,70	MH	47
209/78	11-15	61	16	23	39	60	34	26	2,70	SM	30
210/78	3-7	26	20	54	74	65	34	31	2,67	MH	30
210/78	8-15	50	14	36	50	54	33	21	2,62	SM	38
211/78	6-8	30	20	50	70	64	28	36	2,64	CH	35
211/78	12-16	50	13	37	50	63	32	31	2,58	MH	39
212/78	1-4	38	24	38	62	40	24	16	2,78	CL	22
212/78	5-8	40	15	45	60	63	34	29	2,64	MH	38
212/78	9-14	67	11	22	33	46	23	23	2,69	SC	40
212/78	15-16	36	21	43	64	70	32	38	2,52	CH	41
213/78	1	54	22	24	46	36	22	14	2,70	SC	18
213/78	2	62	14	24	38	41	23	18	2,65	SC	-

TABELA 01 - Ensaaios de caracterização (continuação)

Furo	Amostra	Granulometria (%)				LL (%)	LP (%)	IP (%)	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Classificação sist. unificado	Teor de umidade (%)
		S	M	C	M+C						
213/78A	1	70	12	18	30	36	17	19	2,67	SC	27
214/78	1	48	31	21	52	31	18	13	2,66	CL	21
214/78	2	54	14	32	46	55	25	30	2,58	SC	35
215/78	1	44	16	40	56	64	31	33	2,69	CH	32
215/78	2	32	14	54	68	74	23	51	2,55	CH	41
216/78	1	50	14	36	50	62	34	28	2,55	MH	40
216/78	2	54	16	30	46	66	35	31	2,68	SM	24
217/78	1	29	12	59	71	66	27	39	2,66	CH	36
217/78	2	53	14	33	47	63	24	39	2,70	SC	33
218/78	1	44	22	34	56	45	20	25	2,64	CL	36
218/78	2	59	15	26	41	45	17	28	2,62	SC	26
218/78	3	40	13	47	60	67	27	40	2,62	CH	37
219/78	1	50	27	23	50	42	26	16	2,64	ML	20
219/78	2	55	14	31	45	48	27	11	2,64	SM	29
219/78	3	38	22	40	62	64	26	38	2,65	CH	42
220/78	1	62	15	23	38	41	22	19	2,59	SC	-
220/78	2	65	21	14	35	32	14	18	2,69	SC	-
221/78	1	61	8	31	39	52	26	26	2,68	SC	27
221/78	2	23	31	46	77	69	31	38	2,60	CH	43
221/78	3	28	29	43	72	69	32	37	2,61	CH	42
222/78	1	46	24	30	54	44	20	24	2,67	CL	25
222/78	2	76	16	8	24	30	15	15	2,65	SC	28

TABELA 01 - Ensaio de caracterização (continuação)

Furo	Amostra	Granulometria (%)			LL (%)	LP (%)	IP (%)	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Classificação sist. unificado	Teor de umidade (%)	
		S	M	C							M+C
222/78	3	75	10	15	25	33	19	14	2,68	SC	25
233/78	3-8	59	17	24	41	38	17	21	2,59	SC	19
233/78	9-14	30	46	24	70	45	20	25	2,52	CL	23
224/78	4-6	48	16	36	52	45	31	14	2,68	ML	20
224/78	7-9	60	16	24	40	28	15	13	2,72	SC	18
224/78	13-20	49	28	23	51	47	22	25	2,54	CL	34
107/78	1	36	19	45	64	72	31	41	2,64	CH	27
107/78	2	57	22	21	43	40	23	17	2,68	SC	-
107/78	3	31	26	43	69	66	29	37	2,67	CH	39
108/78A	1	38	24	38	62	47	24	23	2,64	CL	-
108/78A	2	42	15	43	58	76	36	40	2,67	MH	-
216/78A	1	53	14	33	47	74	37	37	2,64	SM	-
204/78	1	68	12	20	32	28	19	9	2,65	SC	18
204/78	2	53	10	37	47	40	21	19	2,59	SC	26

S - % de areia  
M - % de silte  
C - % de argila  
LL - Limite de liquidez  
LP - Limite de plasticidade  
IP - Índice de plasticidade

QUADRO 04 - Resultados em percentagem do material constituinte do solo

Material classificação SUCS	Percentagem	Material classificação SUCS	Percentagem
SM	13,8	SC - SM	44,8
SC	31,0		
CH	22,4	CH - CL MH - ML	55,2
CL	13,8		
MH	15,5		
ML	3,5		





nulométricas obtidas nas respectivas análises granulométricas.

A composição do material constituinte deste solo foi observada em lupa binocular, constatando-se a presença predominante de quartzo e pequenas quantidades de feldspatos. Foram identificadas pequenas percentagens de minerais pesados como a magnetita e a ilmetita. O material mais fino suposto como argílico foi analisado posteriormente com auxílio de raios-X.

Na figura 9 estão representadas a posição das amostras em relação ao gráfico das plasticidades de CASAGRANDE. Observa-se que a maioria das amostras estão localizadas acima da linha-A, denotando a predominância de um comportamento argiloso do material e caracterizados, em sua maior parte, por baixa e média plasticidade.

Da tabela 01, constata-se em relação ao peso específico dos grãos que o mesmo varia de um mínimo de  $2,52 \text{ g/cm}^3$  a um máximo de  $2,78 \text{ g/cm}^3$ , com média em torno de  $2,64 \text{ g/cm}^3$  e para os solos arenosos o mesmo encontra-se no intervalo compreendido entre  $2,58$  e  $2,72 \text{ g/cm}^3$  enquanto que para os argilosos entre  $2,52$  e  $2,78 \text{ g/cm}^3$  e para os siltosos entre  $2,55$  e  $2,73$  gramas por centímetro cúbico.

#### 4.4.2 - Resultados da Análise de Raios-X das Argilas

Na tabela 02 estão representados os resultados obtidos através da análise por raios-X das argilas presentes no solo residual da Formação Rosário do Sul. Foram analisadas seis amostras recolhidas nos ensaios de penetração dinâmica, provenientes de três sondagens a percussão com circulação de água. Três amostras (11-2, 18-4 e 22-4) foram coletadas no topo da camada considerada como solo residual, uma (11-4) no meio e duas (11-7 e 18-8) na base da mesma.

Nas amostras coletadas próximas à superfície observa-se a dominância de caolinita, sendo que em duas delas (11-2 e 22-4) esse argilo-mineral perfaz quase 100%, aparecendo a ilita como traço. A amostra 18-4 apresenta caolinita dominante porém com grande participação do interestratificado ilita-montmorilonita e também de montmorilonita; note-se, porém, que

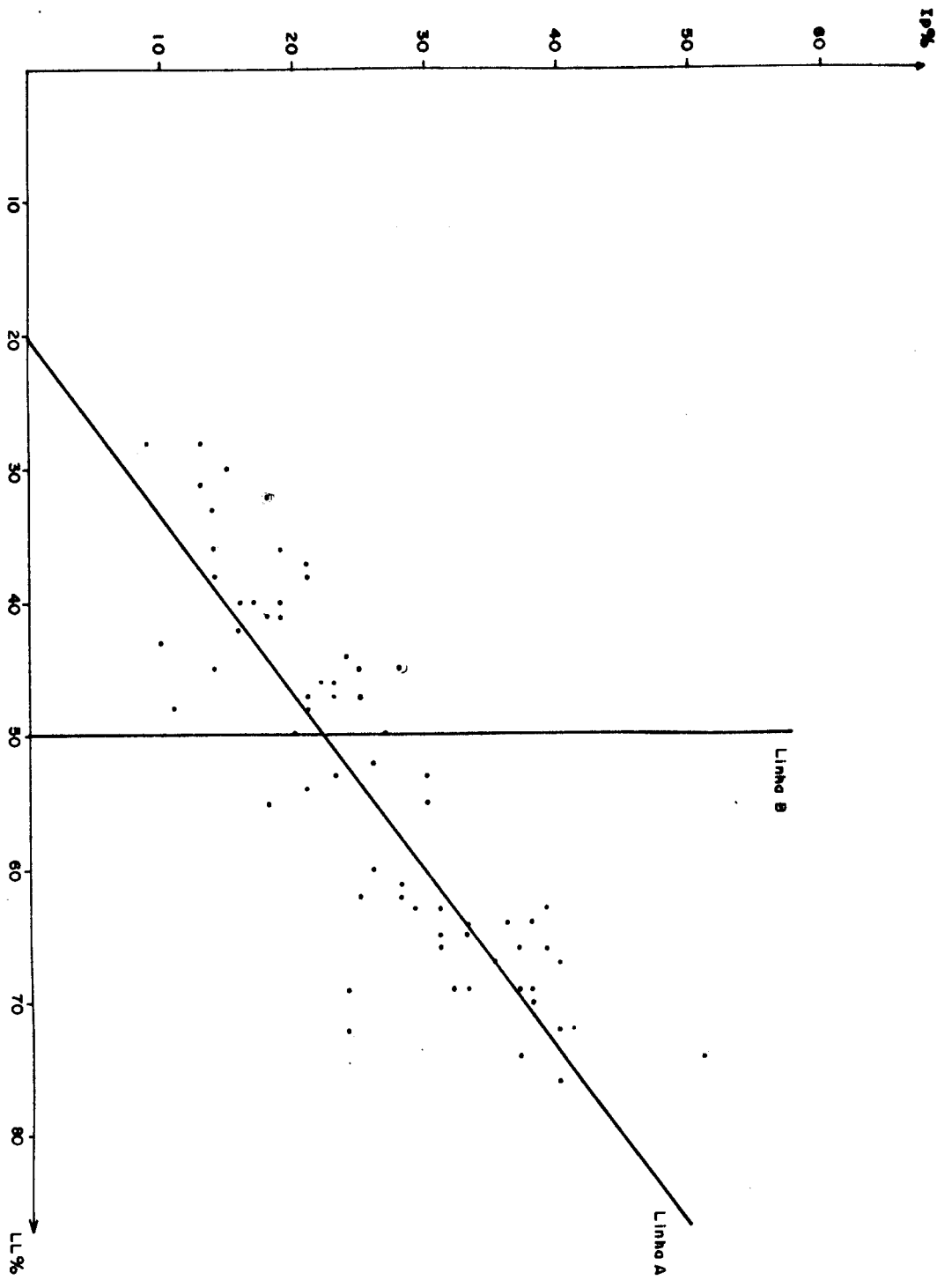


Fig. 9 - Posição das amostras no gráfico das plasticidades de CASAGRANDE.

essa amostra foi coletada próxima ao meio da camada.

A amostra 11-4, que corresponde a amostra coletada em profundidade intermediária, mas mais próxima à superfície, apresenta a caolinita como dominante e montmorilonita como traços.

As amostras coletadas na base apresentam a montmorilonita como dominante e, secundariamente, caolinita.

Nas figuras 10, 11, 12, 13, 14 e 15, estão representados os gráficos obtidos na análise com o raio-X.

Tabela 02 - Resultados da análise de raios-X das argilas

Sondagens nº	Amostra	Caolinita %	Montmorilonita %	Ilita %	Ilita-Montmorilonita %
11	2 .	100	-	Tr	-
	4 †	100	Tr	-	-
	7	12,7	87,3	-	-
18	4 †	53,4	19,4	-	27,2
	8	10,5	89,5	-	-
22	4 .	100	-	Tr	-

Obs.: Sondagens executadas pela TECNOSOLO S.A. para PETROFLEX em setembro de 80. Tr - traços.

#### 4.4.3 - Resultados dos Ensaios de Adensamento

Na tabela 03 estão expressos os resultados dos ensaios de adensamento realizados em diversos pontos do que se convencionou chamar de solo residual da Formação Rosário do Sul, num total de 38 ensaios e, também, os dados referentes às condições iniciais dos corpos de prova.

Observa-se que a massa específica aparente da amostra úmida variou de um mínimo de  $1,67 \text{ g/cm}^3$  até um máximo de

K - 100 %  
I - TR

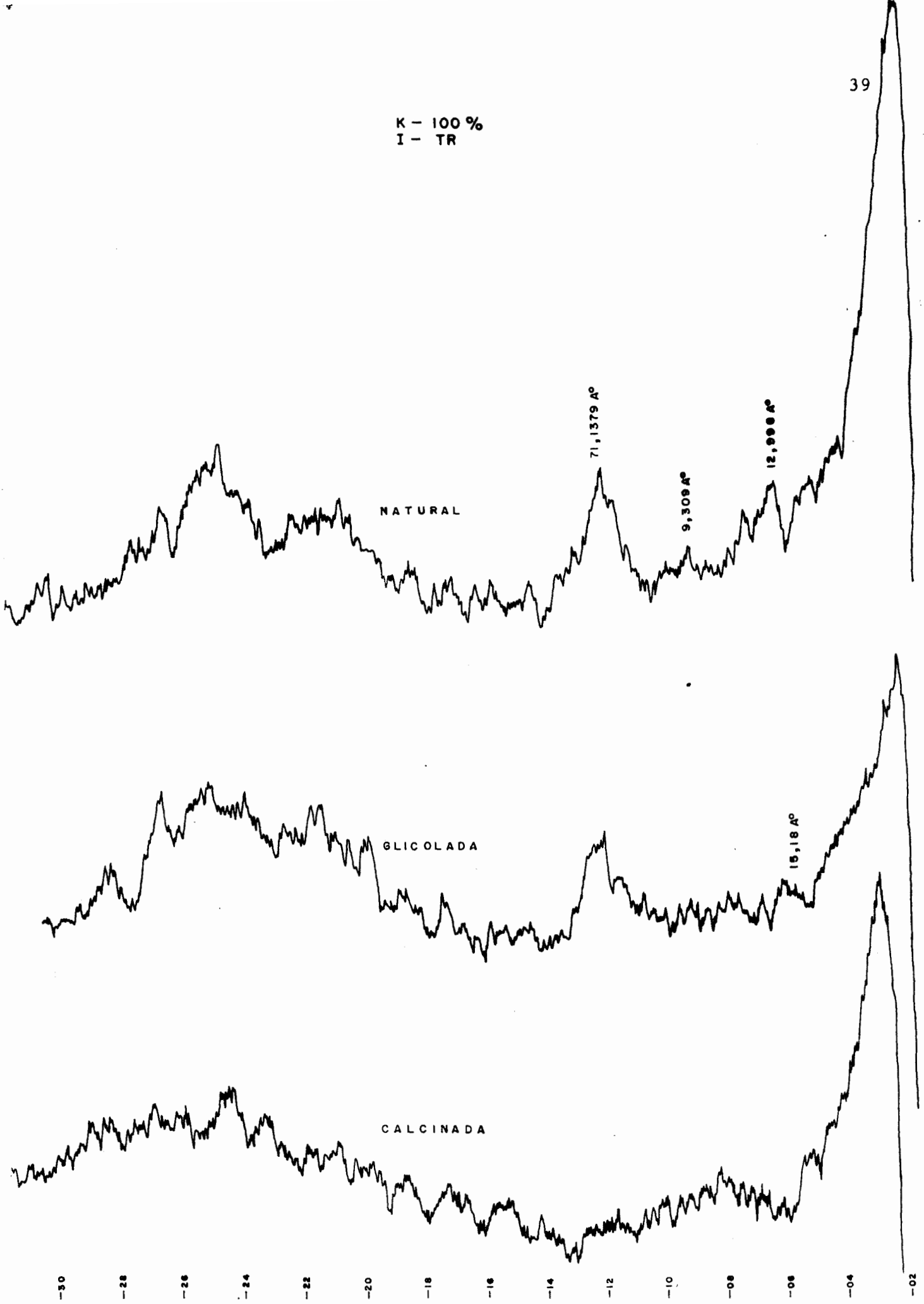


Fig: 10- Difratoograma da amostra S-11-A2 pertencente ao solo residual da Formação Rosário do Sul. N.º 1-se predominância de caulinita (K).

K - 100 %  
M - TR

40

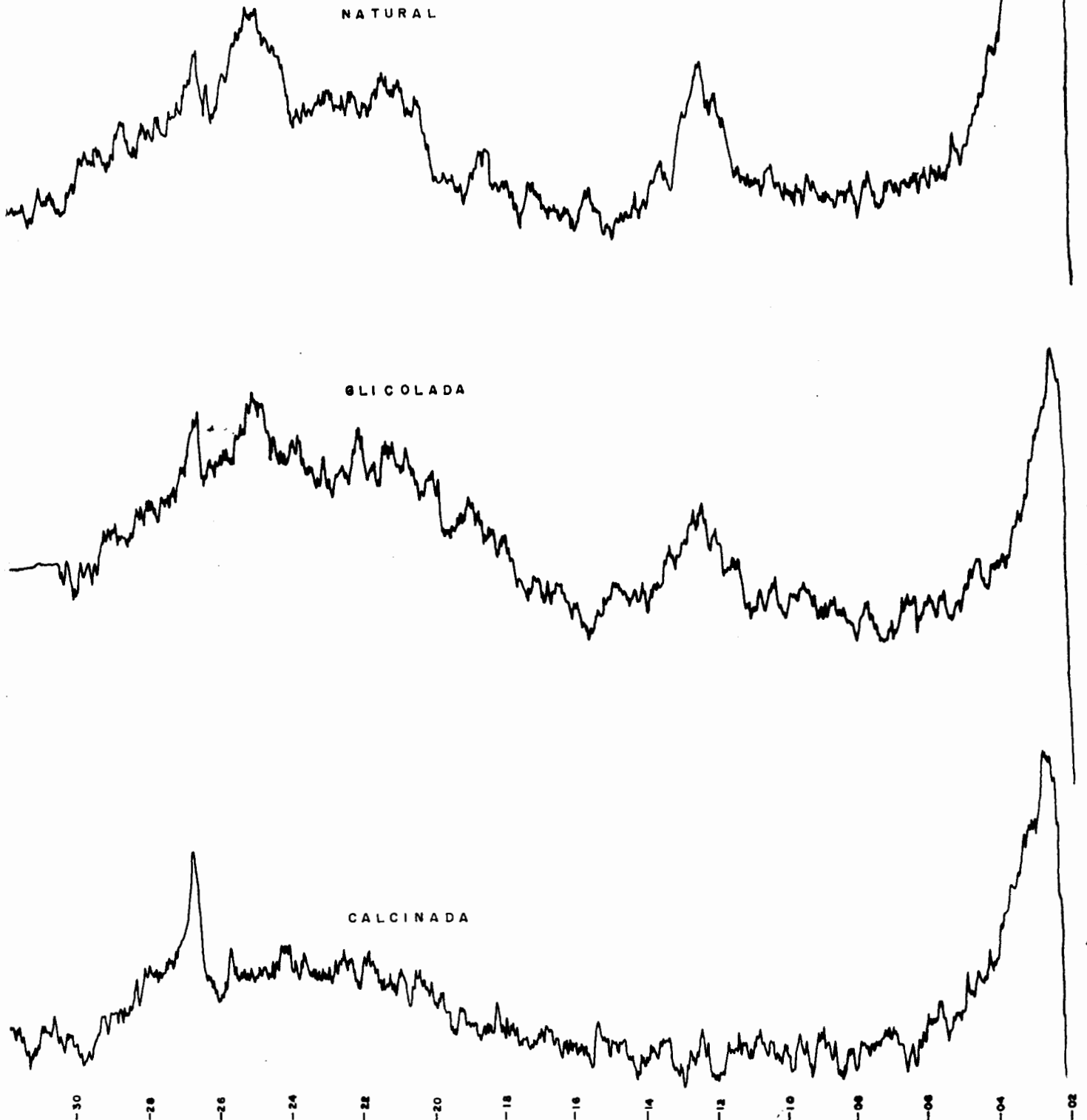


Fig: 11 - Difratoograma da amostra S-11-A4 pertencente ao solo residual da Formação Rosário do Sul. Nota-se predominância de caolinita(K) e traços de montmorilonita(M).

M - 87,3 %  
K - 12,7 %

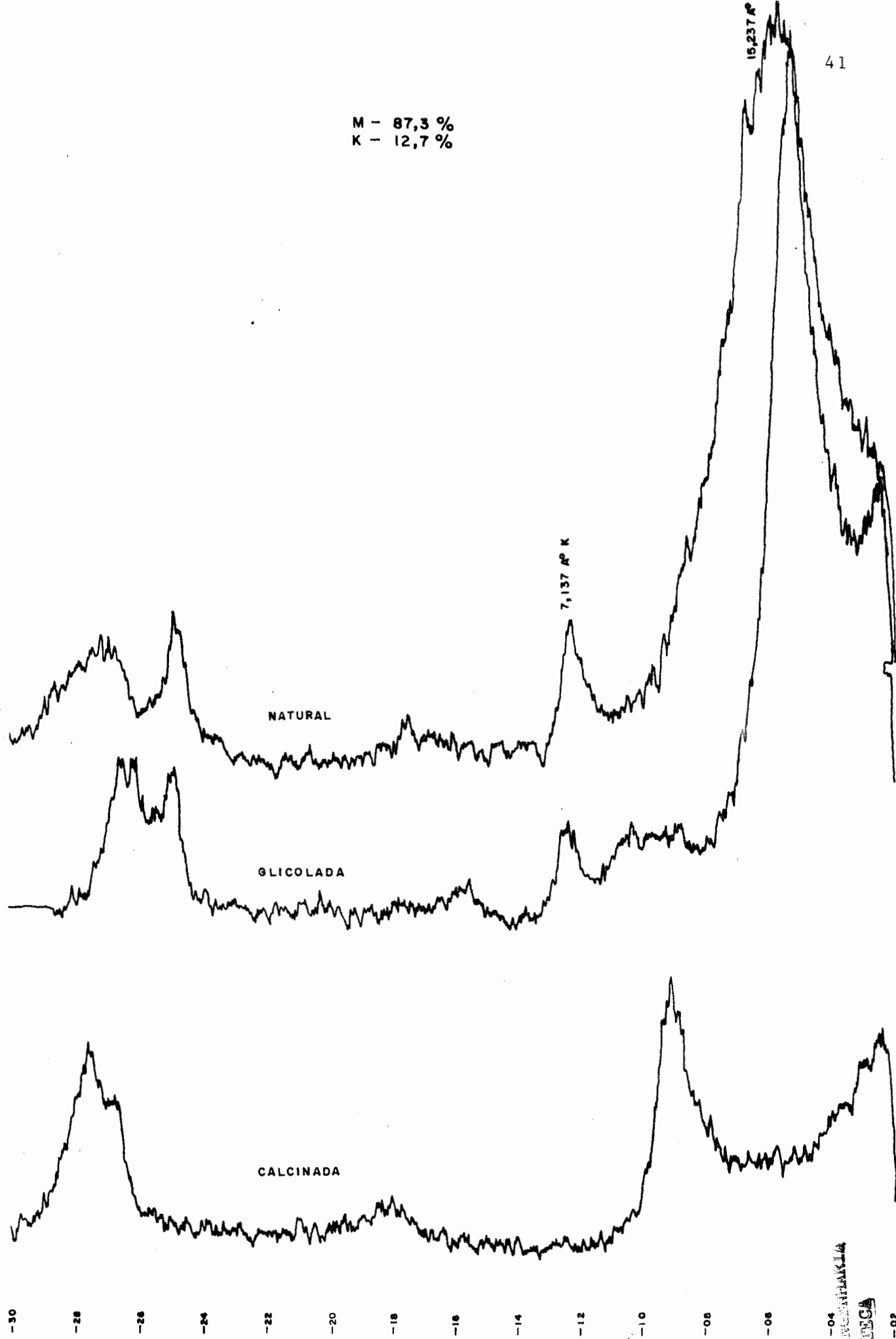


Fig: 12- Difratoograma da amostra S-11-A7 pertencente ao solo residual da Formação Rosário do Sul. Nota-se predominância de montmorilonita(M) e secundariamente caolinita (K).

K - 53,4 %  
I-M - 27,2 %  
M - 19,4 %

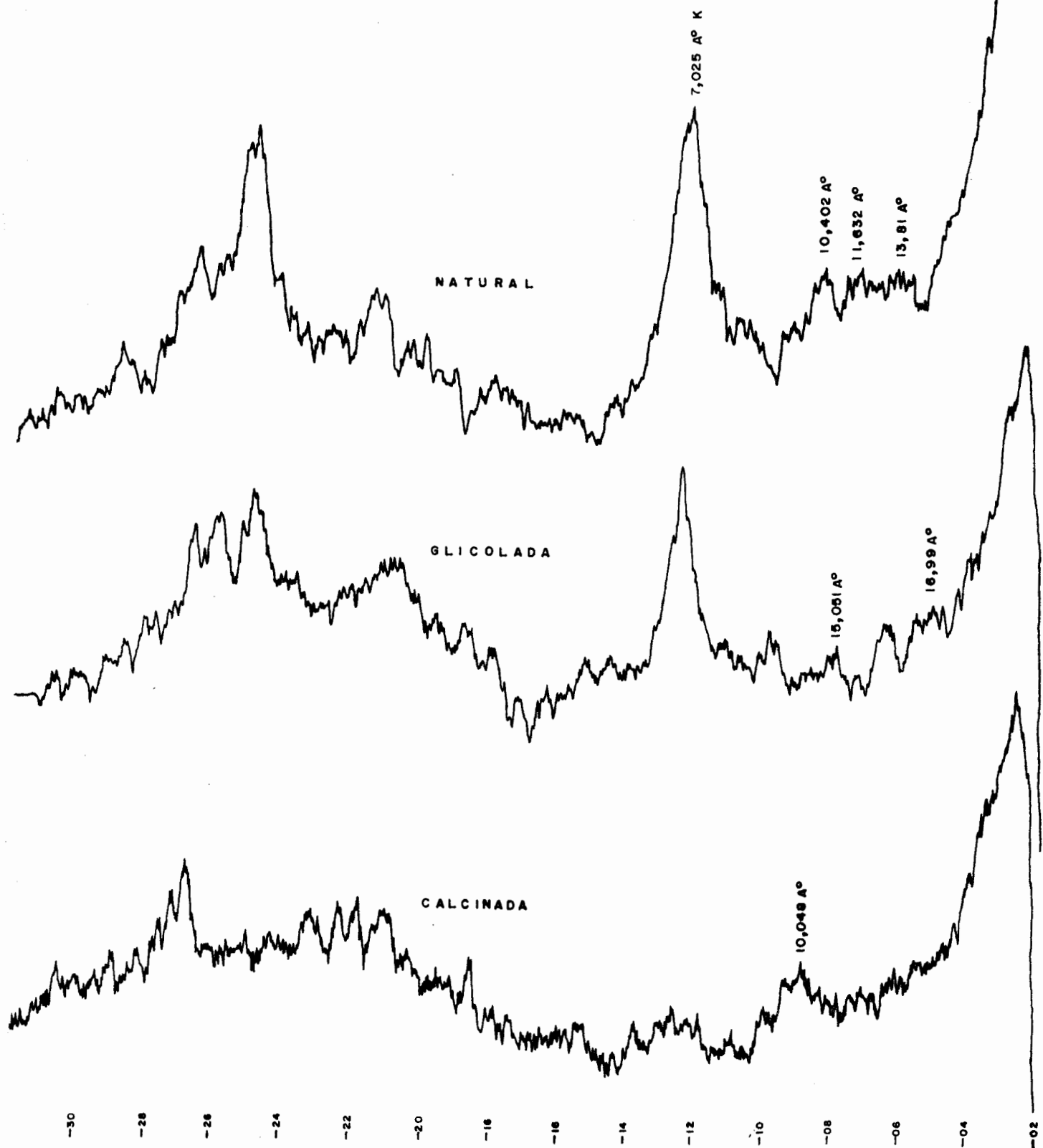


Fig: 13- Difratoograma da amostra S- 18- A4 pertencente ao solo residual da Formação Rosário do Sul. Ne predominância de caulinita (K), secundariamente illita-montmorilonita (I-M) e montmorilonita (M).

M - 89,5 %  
K - 10,5 %

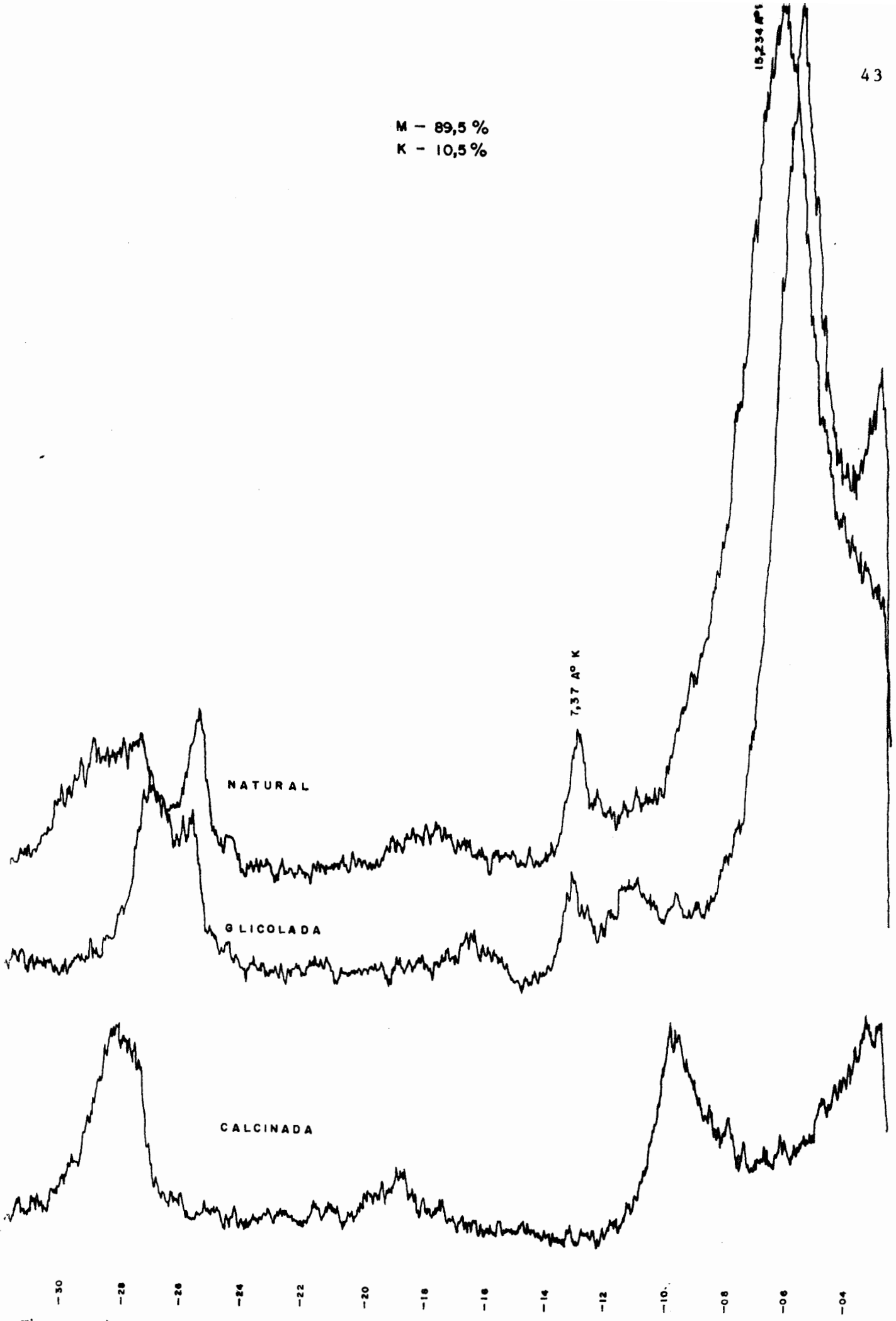


Fig. 14- Difractograma da amostra S-18-A8 pertencente ao solo residual da Formação Rosário de Sul. Nota-se predominância de montmorilonita (M) e secundariamente caillinita (K).



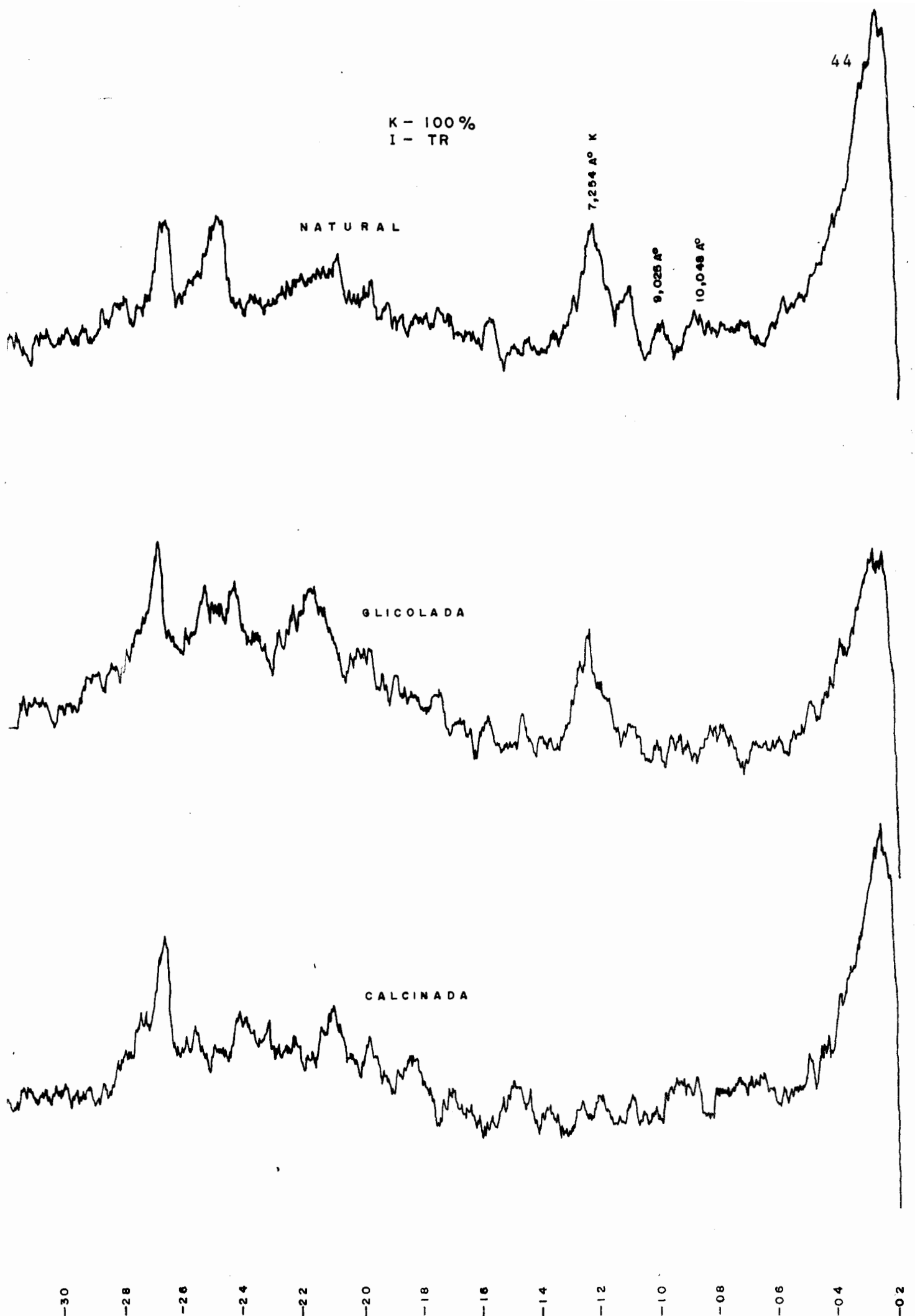


Fig. 15 - Difratoograma da amostra S-22-A4 pertencente ao solo residual da Formação Rosário do Sul. Nota-se predominância de caulinita (K) e traços de Ilita (I).

TABELA 03 - Resultados dos ensaios de adensamento

Furo	Amostra	$\gamma_h$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	e	S(%)	$P\alpha$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$e\alpha$	Cc	Ce
107/78	1	1,75	1,29	1,05	88	0,95	0,99	0,12	0,04
107/78	2	1,85	1,37	0,96	98	2,10	0,89	0,26	0,05
107/78	3	1,78	1,32	1,02	92	2,20	0,93	0,37	0,10
108/78A	1	1,88	1,54	0,71	82	1,60	0,65	0,16	0,01
108/78A	2	1,76	1,30	1,05	89	3,20	0,93	0,23	0,03
108/78A	3	1,83	1,46	0,84	80	2,60	0,76	0,12	0,02
201/78	1	1,73	1,31	0,95	86	2,10	0,92	0,21	0,05
201/78	2	1,68	1,29	1,06	75	2,50	0,98	0,36	0,05
202/78	3	1,67	1,23	1,16	80	1,50	1,11	0,26	0,08
203/78	1	1,80	1,39	0,92	84	1,65	0,88	0,13	0,02
204/78	1	2,01	1,65	0,61	96	1,80	0,57	0,07	0,01
204/78	2	1,86	1,50	0,73	85	2,60	0,68	0,13	0,02
213/78	1	1,86	1,53	0,76	78	0,80	0,71	0,16	0,01
213/78	2	1,74	1,29	1,05	88	-	1,05	0,35	0,04
214/78	1	1,94	1,55	0,72	92	1,80	0,65	0,19	0,01
214/78	2	1,75	1,29	1,00	95	2,20	0,91	0,27	0,03
215/78	1	1,91	1,43	0,88	100	0,95	0,84	0,21	0,02
215/78	2	1,71	1,26	1,02	90	1,40	0,97	0,25	0,06
216/78	1	1,95	1,41	0,81	100	2,40	0,72	0,25	0,03
216/78A	1	1,77	1,29	1,05	98	3,00	0,97	0,33	0,04
217/78	1	1,96	1,42	0,87	100	2,60	0,79	0,28	0,03
217/78	2	1,80	1,30	1,08	95	2,10	0,99	0,26	0,03

TABELA 03 - Resultados dos ensaios de adensamento (continuação)

Furo	Amostra	$\gamma_h$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	e	s (%)	$P_{\alpha}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$e_{\alpha}$	Cc	Ce
218/78A	1	1,84	1,49	0,77	82	2,00	0,72	0,14	0,02
	2	1,90	1,51	0,74	93	2,30	0,69	0,19	0,03
	3	1,80	1,27	1,08	97	1,35	0,99	0,28	0,07
218/78A	1	1,92	1,56	0,72	86	2,10	0,67	0,15	0,05
	3	1,82	1,40	0,87	90	0,65	0,81	0,24	0,03
219/78	1	2,01	1,68	0,57	93	1,40	0,52	0,15	0,02
	2	1,85	1,45	0,89	89	2,90	0,76	0,21	0,02
219/78	3	1,83	1,41	0,88	90	2,30	0,81	0,19	0,06
	1	1,99	1,59	0,63	100	1,85	0,67	0,15	0,02
220/78	2	1,96	1,58	0,70	92	1,85	0,66	0,10	0,02
	1	1,82	1,43	0,90	81	2,40	0,83	0,20	0,02
221/78	2	1,82	1,33	1,01	98	2,20	0,91	0,33	0,08
	3	1,77	1,25	1,06	99	3,10	0,91	0,45	0,08
222/78	1	1,97	1,60	0,76	85	3,20	0,69	0,13	0,02
	2	1,75	1,32	1,05	85	3,20	0,98	0,32	0,03
222/78	3	1,93	1,52	0,76	95	2,20	0,66	0,20	0,02

 $\gamma_h$  - Massa específica aparente da amostra úmida $P_{\alpha}$  - Pressão de pré-adensamento $\gamma_s$  - Massa específica aparente da amostra seca

e - Índice de vazios na pressão de pré-adensamento

e - Índice de vazios

Cc - Índice de compressão

S - Grau de saturação

Ce - Índice de expansão

2,01 g/cm<sup>3</sup> com uma média em torno de 1,84 g/cm<sup>3</sup>, enquanto que a massa específica aparente da amostra seca variou entre 1,23 e 1,68 g/cm<sup>3</sup> com média em torno de 1,41 gramas por centímetro cúbico. Os índices de vazios das amostras abrange o intervalo entre 0,61 e 1,16 com média de 0,88 e o grau de saturação do material o intervalo entre 75 e 100% com média em torno de 90%, ou seja, amostras em sua maior parte estão parcialmente saturadas com valores de umidade muito próximos aos das amostras saturadas.

A pressão de pré-adensamento determinada no ensaio apresentou como limite inferior o valor de 0,80 kg/cm<sup>2</sup> e por limite superior 3,20 kg/cm<sup>2</sup> com valor médio de 2,08 kg/cm<sup>2</sup>. O índice de vazios na pressão de pré-adensamento atingiu um mínimo de 0,50 e um máximo de 1,11, com média em torno de 0,82, não coincidindo, entretanto, os valores mínimos e máximos dos índices de vazios respectivamente com os mínimos e máximos das pressões de pré-adensamento.

Na figura 16 está representado o gráfico característico obtido neste ensaio.

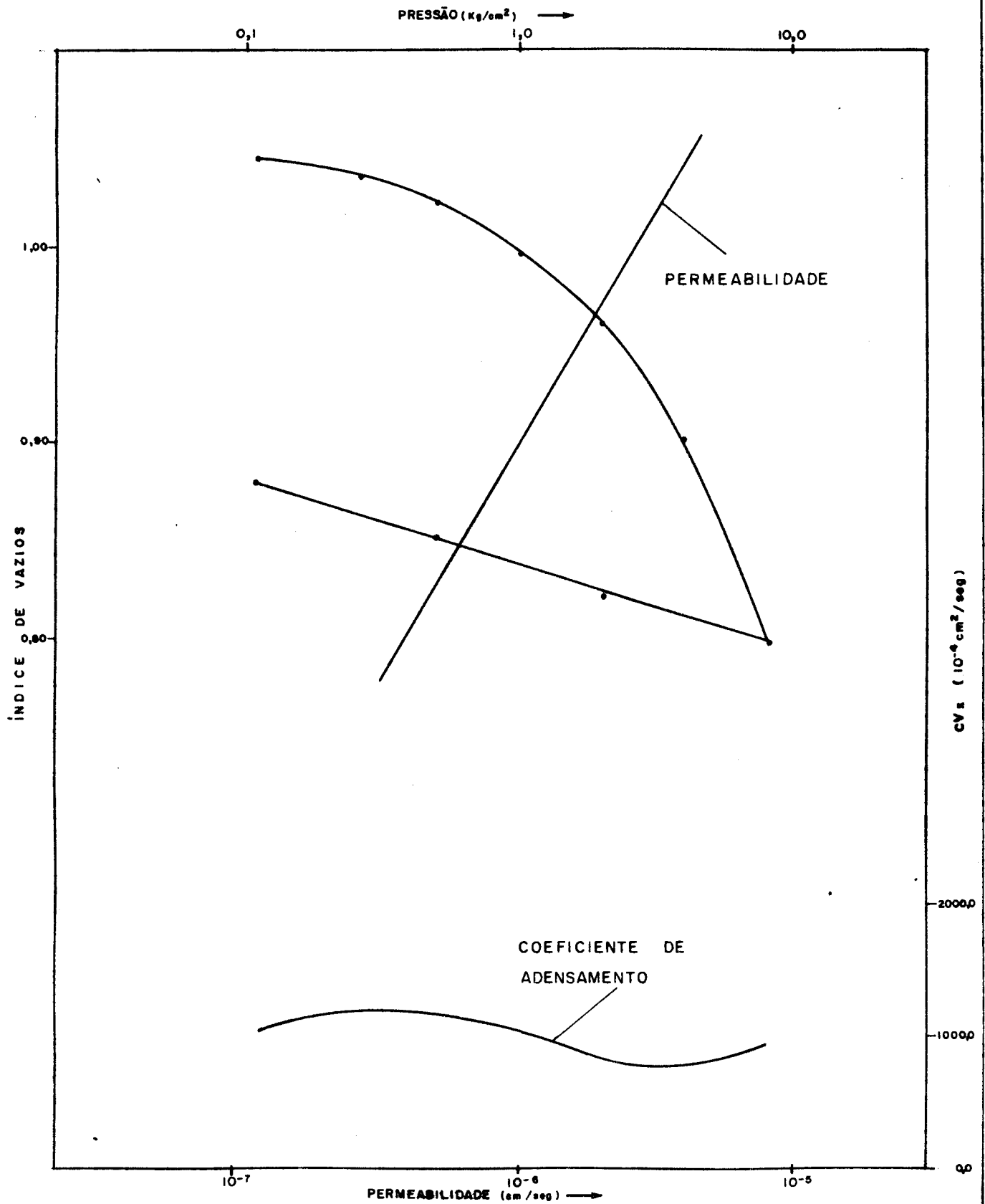
#### 4.4.4 - Resultados dos Ensaio Triaxiais

Na tabela 04 estão expressos os resultados dos ensaios triaxiais do tipo CU com medida de pressão neutra e saturados por contra-pressão. A pressão efetiva de adensamento,  $\bar{\sigma}_c$ , foi de 1,00 kg/cm<sup>2</sup>, 2,00 kg/cm<sup>2</sup> e 3,00 kg/cm<sup>2</sup>, na maioria dos ensaios, e em outros  $\bar{\sigma}_c$  foi igual a 1,50 kg/cm<sup>2</sup>, 3,00 kg/cm<sup>2</sup> e 4,50 kg/cm<sup>2</sup>, sendo que estes intervalos de pressão também correspondem a tensão principal menor total,  $\sigma_3$ , aplicada.

Além das combinações iniciais dos corpos de prova tais como índice de vazios e grau de saturação, também estão registrados na tabela os valores das tensões principais efetivas maior e menor nas condições de ruptura, bem como o deviator de tensões, a razão entre as tensões principais efetivas, o parâmetro "A" de pressão neutra, a deformação axial específica e a tensão neutra.

Os valores encontrados para o parâmetro "A" de pres

Fig.16 - Resultado de um ensaio de adensamento de solo residual da Formação Rosário do Sul, sondagem S-201/78, amostra dois (2).



Furo: S-201/18  
 Amostra: I  
 Cota: ± 29,00m

Pre-adensamento Pressão (Kg/cm<sup>2</sup>) 2,50  
 Índice de vazios 0,95  
 Índice de Compressão 0,36  
 Vazio Inicial 1,06  
 Expansão 0,05

TABELA 04 - Resultados dos ensaios triaxiais - CU

Furo	Amostra	corpo de prova	eo	S	ec	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{3f}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{3f}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{1f}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$	$\bar{A}_f$	$\epsilon_{Af}$ (%)	$\mu_f$ (kg/cm <sup>2</sup> )
107/78	1	1	0,98	70	1,08	1,00	1,08	4,23	3,15	3,92	-0,03	12,05	-0,08	
		2	1,00	74	1,05	2,00	1,67	6,83	5,16	4,09	0,06	14,04	0,33	
		3	0,98	73	1,05	3,00	2,73	11,43	8,70	4,19	0,03	3,02	0,27	
107/78	3	1	0,92	100	0,88	1,00	0,76	2,96	2,20	3,89	0,11	2,52	0,24	
		2	0,80	100	0,73	2,00	1,66	6,50	4,84	3,92	0,07	11,38	0,34	
		3	0,89	100	0,78	3,00	2,58	9,72	7,14	3,77	0,06	8,89	0,42	
108/78A	1	1	0,65	98	0,62	1,00	0,95	4,61	3,66	4,85	0,01	3,77	0,05	
		2	0,60	88	0,55	2,00	1,81	10,69	8,88	5,91	0,02	5,02	0,19	
		3	0,54	93	0,46	3,00	2,65	15,96	13,31	6,02	0,03	3,80	0,35	
108/78A	2	1	0,91	85	0,88	1,00	0,93	3,24	2,31	3,48	0,03	2,52	0,07	
		2	0,93	86	0,89	2,00	1,79	7,24	5,45	4,04	0,04	5,05	0,21	
		3	0,89	93	0,89	3,00	2,70	10,39	7,69	3,85	0,04	5,03	0,30	
108/78A	3	1	1,05	82	0,97	1,00	0,84	3,98	3,14	4,74	0,05	5,03	0,16	
		2	0,89	84	0,82	2,00	1,75	9,98	8,23	5,70	0,04	6,35	0,25	
		3	0,86	81	0,85	3,00	2,70	13,95	11,25	5,17	0,03	10,06	0,30	
203/78	1	1	1,04	85	1,05	1,00	1,02	3,32	2,30	3,25	-0,01	7,56	-0,02	
		2	0,66	100	0,65	2,00	1,59	5,21	3,63	3,29	0,15	6,27	0,42	
		3	0,84	95	0,79	3,00	2,90	7,25	4,35	2,50	0,02	17,68	0,10	

TABELA 04 - Resultados dos ensaios triaxiais - CU (continuação)

Furo	Amostra	corpo de prova	eo	S	ec	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{3f}^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{3f}^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{1f}^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$	$\bar{A}_f$	$\epsilon_{Af}$ (%)	$\mu_f$ (kg/cm <sup>2</sup> )
203/78	2	1	0,68	82	0,65	1,00	1,00	0,76	4,78	4,08	6,83	0,07	2,52	0,30
		2	0,57	90	0,54	2,00	2,00	1,73	7,70	5,97	4,45	0,05	6,30	0,27
		3	0,66	84	0,62	3,00	3,00	2,50	9,20	6,70	3,68	0,07	9,78	0,60
204/78	1	1	0,60	97	0,56	1,00	1,00	0,81	3,49	2,68	4,31	0,07	8,81	0,19
		2	0,52	87	0,43	2,00	2,00	1,68	6,09	4,41	3,63	0,07	13,98	0,32
		3	0,46	92	0,29	3,00	3,00	2,51	8,51	6,00	3,39	0,08	13,96	0,49
204/78	2	1	0,52	100	0,47	1,00	1,00	0,95	2,17	1,22	2,28	0,04	2,52	0,05
		2	0,70	100	0,56	2,00	2,00	1,88	6,05	4,17	3,22	0,03	3,79	0,12
		3	0,60	100	0,55	3,00	3,00	2,50	7,56	5,06	3,02	0,10	10,08	0,50
213/78	1	1	0,52	88	0,47	1,00	1,00	0,83	4,70	3,87	5,66	0,04	5,04	0,17
		2	0,69	74	0,60	2,00	2,00	1,69	6,84	5,15	4,05	0,06	10,17	0,31
		3	0,53	92	10,49	3,00	3,00	2,54	8,11	5,57	3,19	0,08	10,05	0,46
213/78A	1	1	0,80	100	0,68	1,00	1,00	0,84	3,79	2,95	4,51	0,05	13,91	0,16
		2	0,73	100	0,65	2,00	2,00	1,65	7,75	6,10	4,70	0,06	16,35	0,35
		3	0,65	91	0,62	3,00	3,00	2,56	13,35	14,79	5,21	0,04	10,11	0,44
214/78	1	1	0,71	79	0,65	1,00	1,00	0,99	3,67	2,68	3,71	0,00	8,80	0,01
		2	0,54	99	0,50	2,00	2,00	1,83	4,84	3,01	2,64	0,06	7,52	0,17
		3	0,55	100	0,49	3,00	3,00	2,64	7,13	4,49	2,70	0,08	15,11	0,36

TABELA 04 - Resultados dos ensaios triaxiais - CU (continuação)

Furo	Amostra	corpo de prova	eo	S	ec	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{3f}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{3f}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{1f}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$	$\bar{A}_f$	$\epsilon_{Af}$ (%)	$\mu_f^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
214/78	2	1	0,83	100	0,79	1,00	1,00	0,85	1,74	0,89	2,05	0,13	5,04	0,15
		2	0,80	100	0,73	2,00	2,00	1,45	3,17	4,72	2,19	0,32	6,35	0,55
		3	0,80	100	0,69	3,00	3,00	1,60	3,95	2,35	2,47	0,60	5,11	1,40
215/78	1	1	0,87	93	0,88	1,00	1,00	0,66	2,20	1,54	3,33	0,22	7,03	0,34
		2	0,91	98	0,83	2,00	2,00	1,16	3,72	2,56	3,21	0,33	5,04	0,84
		3	0,99	90	0,81	3,00	3,00	1,37	4,62	3,25	3,37	0,50	9,14	1,63
215/78	2	1	0,98	100	0,99	1,00	1,00	0,55	1,38	0,83	2,51	0,54	1,26	0,45
		2	0,70	100	0,70	2,00	2,00	0,76	1,84	1,08	2,42	1,15	16,41	1,24
		3	1,04	100	0,89	3,00	3,00	1,40	3,64	2,24	2,60	0,71	8,93	1,60
216/78	1	1	0,73	100	0,61	1,50	1,50	0,86	2,26	1,40	2,63	0,46	6,32	0,64
		2	0,86	100	0,80	2,50	2,50	1,79	3,38	1,59	1,89	0,45	3,72	0,71
		3	0,89	100	0,81	3,50	3,50	2,71	4,59	1,88	1,64	0,42	12,63	0,99
216/78	2	1	0,96	70	0,94	1,00	1,00	0,67	1,85	1,18	2,76	0,28	4,04	0,33
		2	0,97	64	0,95	2,00	2,00	1,16	4,19	3,03	3,62	0,28	9,14	0,84
		3	0,99	65	0,97	3,00	3,00	1,73	6,25	4,52	3,61	0,28	7,06	1,27
217/78	1	1	0,99	94	0,96	1,50	1,50	1,24	6,14	4,90	4,95	0,05	1,26	0,26
		2	0,97	100	0,94	2,50	2,50	2,40	7,35	4,95	3,06	0,02	5,00	0,10
		3	0,96	100	0,93	3,50	3,50	2,80	8,39	5,59	3,00	0,13	12,61	0,70
217/78	2	1	0,96	100	0,93	2,00	1,67	1,67	5,62	3,95	3,37	0,08	5,09	0,33
		2	0,93	96	0,89	3,00	3,00	2,04	6,79	4,75	3,34	0,22	5,04	0,97
		3	0,94	86	0,86	4,00	4,00	3,03	9,48	6,49	3,34	0,19	8,84	0,96



TABELA 04 - Resultados dos ensaios triaxiais - CU (continuação)

Furo	Amostra	corpo de prova	eo	S	ec	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{3f}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{3f}^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{1f}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$	$\bar{A}_f$	$\epsilon_{Af}$ (%)	$H_f$ (kg/cm <sup>2</sup> )
218/78A	1	1	0,78	100	0,89	1,00	1,00	0,83	3,42	2,59	4,12	0,07	12,55	0,17
		2	0,74	100	0,70	2,00	2,00	1,55	4,29	2,74	2,77	0,16	10,10	0,45
		3	0,82	100	0,80	3,00	3,00	2,45	5,70	3,25	2,32	0,17	10,63	0,55
218/78A	3	1	0,94	100	0,91	1,00	1,00	0,72	2,11	1,39	2,93	0,20	6,33	0,28
		2	0,94	100	0,81	2,00	2,00	1,48	4,48	3,00	3,03	0,17	15,36	0,52
		3	1,00	100	0,99	3,00	3,00	2,16	7,69	5,53	3,56	0,15	15,52	0,84
218/78	1	1	1,08	93	0,89	1,50	1,50	1,14	4,47	3,33	3,92	0,11	11,42	0,36
		2	0,86	74	0,82	2,50	2,50	1,90	5,82	3,92	3,06	0,15	16,41	0,60
		3	1,18	100	1,00	3,50	3,50	3,00	7,75	4,85	2,62	0,10	10,14	0,50
218/78	2	1	0,82	83	0,79	1,00	1,00	0,92	4,67	3,75	5,08	0,02	11,29	0,08
		2	0,78	87	0,77	2,00	2,00	1,36	6,35	4,99	4,67	0,13	17,63	0,64
		3	0,76	93	0,74	3,00	3,00	1,72	8,85	7,13	5,15	0,18	13,89	1,28
218/78	3	1	1,00	97	0,91	2,00	2,00	1,35	1,92	0,57	1,42	1,15	7,04	0,65
		2	0,97	95	0,90	3,00	3,00	1,73	2,76	1,03	1,59	1,24	10,05	1,27
		3	1,03	97	0,96	4,00	4,00	2,69	4,91	2,22	1,83	0,59	8,05	1,31
219/78	1	1	0,53	95	0,51	2,00	2,00	1,43	6,94	5,51	4,86	0,10	2,51	0,57
		2	0,61	100	0,53	3,00	3,00	2,03	8,47	6,44	4,17	0,15	8,88	0,97
		3	0,58	86	0,52	4,00	4,00	2,69	12,67	9,98	4,71	0,13	5,08	1,31
219/78	2	1	0,82	97	0,80	2,00	2,00	0,67	2,10	1,43	3,13	0,93	13,20	1,33
		2	0,91	84	0,89	4,00	4,00	2,09	4,14	2,05	1,98	0,93	8,08	1,91
		3	0,93	82	0,85	6,00	6,00	3,68	6,89	3,21	1,87	0,72	7,14	2,32

TABELA 04 - Resultados dos ensaios triaxiais - CU (continuação)

Furo	Amostra	corpo de prova	eo	S	ec	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{3f}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{3f}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{1f}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$	$\bar{A}_f$	$\epsilon_{Af}$ (%)	$\mu_f$ (kg/cm <sup>2</sup> )
219/78	3	1	0,96	100	0,93	1,50	1,50	1,12	2,84	1,72	2,53	0,22	10,11	0,38
		2	1,12	100	1,10	3,00	2,22	5,21	2,99	2,35	0,26	5,04	0,78	
		3	1,07	100	1,02	4,50	3,29	7,59	4,30	2,31	0,28	3,80	1,21	
220/78	1	1	0,53	99	0,49	1,00	1,00	0,90	2,66	1,76	2,96	0,06	3,80	0,10
		2	0,56	100	0,54	2,00	1,83	6,49	4,66	3,55	0,04	12,56	0,17	
		3	0,58	97	0,58	3,00	2,28	8,14	5,86	3,57	0,12	20,15	0,72	
220/78	2	1	0,71	99	0,66	1,00	1,00	1,27	4,81	3,54	3,79	-0,08	10,05	-0,27
		2	0,73	100	0,68	2,00	1,22	4,64	3,42	3,80	0,23	7,58	0,78	
		3	0,65	96	0,64	3,00	2,47	7,18	4,71	2,91	0,11	8,83	0,53	
221/78	1	1	1,00	72	0,91	1,50	1,50	1,27	6,97	5,70	6,49	0,04	5,04	0,23
		2	0,91	80	0,80	3,00	2,53	10,48	7,95	4,14	0,06	2,61	0,47	
		3	0,99	73	0,82	4,50	3,60	12,15	8,55	3,38	0,11	10,24	0,90	
221/78	2	1	1,03	96	1,03	1,50	1,50	0,83	1,51	0,68	1,82	0,98	7,35	0,67
		2	1,17	100	1,18	3,00	1,77	3,31	1,54	1,87	0,80	7,70	1,23	
		3	1,11	100	1,05	4,50	3,08	4,91	1,83	1,59	0,78	15,15	1,42	
221/78	3	1	1,25	86	1,25	1,50	1,50	1,03	2,14	1,11	2,08	0,42	12,07	0,47
		2	1,21	86	1,14	3,00	2,38	3,86	1,48	1,62	0,42	15,21	0,62	
		3	1,33	88	1,29	4,50	3,64	5,69	2,06	1,56	0,42	8,04	0,86	
222/78	1	1	0,87	80	0,80	1,50	1,50	1,28	4,75	3,47	3,71	0,06	13,87	0,22
		2	0,87	74	0,80	3,00	2,65	7,05	4,48	2,66	0,08	3,82	0,35	
		3	0,87	77	0,79	4,50	4,10	8,64	4,54	2,11	0,09	11,52	0,40	

TABELA 04 - Resultados dos ensaios triaxiais - CU (continuação)

Furo	Amostra	corpo de prova	eo	S	ec	$\bar{\sigma}_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{3f}^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_{3f}^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{1f}^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$	$\bar{A}_f$	$\epsilon_{Af}$ (%)	$\mu_f$ (kg/cm <sup>2</sup> )
222/78	2	1	0,82	90	0,79	1,50	1,50	0,97	3,32	2,35	3,42	0,23	3,02	0,53
		2	0,84	88	0,93	3,00	3,00	2,37	7,24	4,87	3,05	0,13	5,04	0,63
		3	0,85	87	0,91	4,50	4,50	3,73	10,66	6,93	2,86	0,11	5,04	0,77
222/78	3	1	0,75	75	0,73	1,50	1,50	1,03	6,85	5,82	6,65	0,08	15,06	0,47
		2	0,82	88	0,81	3,00	3,00	2,16	9,45	7,29	4,38	0,12	15,13	0,84
		3	0,80	87	0,79	4,50	4,50	3,18	11,57	8,39	3,64	0,16	15,27	1,32

## Legendas:

- eo - índice de vazios  
S - grau de saturação  
ec - índice de vazios após o adensamento  
 $\bar{\sigma}_c$  - pressão efetiva de adensamento  
 $\sigma_3$  - tensão principal menor total  
 $\bar{\sigma}_3$  - tensão principal menor efetiva  
 $\bar{\sigma}_1$  - tensão principal maior efetiva  
 $\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3$  - desviador  
 $\bar{\sigma}_1 / \bar{\sigma}_3$  - razão entre tensões principais efetivas  
A - parâmetro A de pressão neutra  
 $\epsilon_A$  - deformação axial específica  
 $\mu$  - pressão neutra  
f - condições na rutura

são neutra estão situados no intervalo entre - 0,08 e 1,24, a deformação axial específica variou entre 1,26% e 17,68% e a pressão neutra entre - 0,08 e 2,32 quilogramas por centímetro quadrado.

Na tabela 05 estão registrados os valores da coesão ( $c$ ), coesão efetiva ( $c'$ ), ângulo de atrito ( $\phi$ ) e ângulo de atrito efetivo ( $\phi'$ ) obtidos nos ensaios triaxiais do tipo CU. Observa-se que o ângulo de atrito variou entre um mínimo de  $7^\circ$  a um máximo de  $43^\circ$  com média em torno de  $21^\circ$  e o ângulo de atrito efetivo variou entre  $7^\circ$  e  $45^\circ$  com média em torno de 25 graus. A coesão esteve limitada ao intervalo compreendido entre 0,00 e 1,90 e a coesão efetiva entre 0,00 e 1,70, com 10 amostras não apresentando coesão.

Nas figuras 17 e 17.a estão ilustrados os resultados de um ensaio de compressão triaxial tipo CU com medida de pressão neutra, correspondente a amostra da sondagem S-213/78 na cota de 29 metros.

Na tabela 06 estão representados os resultados dos ensaios triaxiais UU e os valores de coesão e ângulo de atrito. Foram realizados 3 ensaios com amostras com coesão variando entre 0,25 e 0,45 e ângulo de atrito entre 10 e 12 graus.

#### 4.4.5 - Resultados dos Ensaios de Compactação

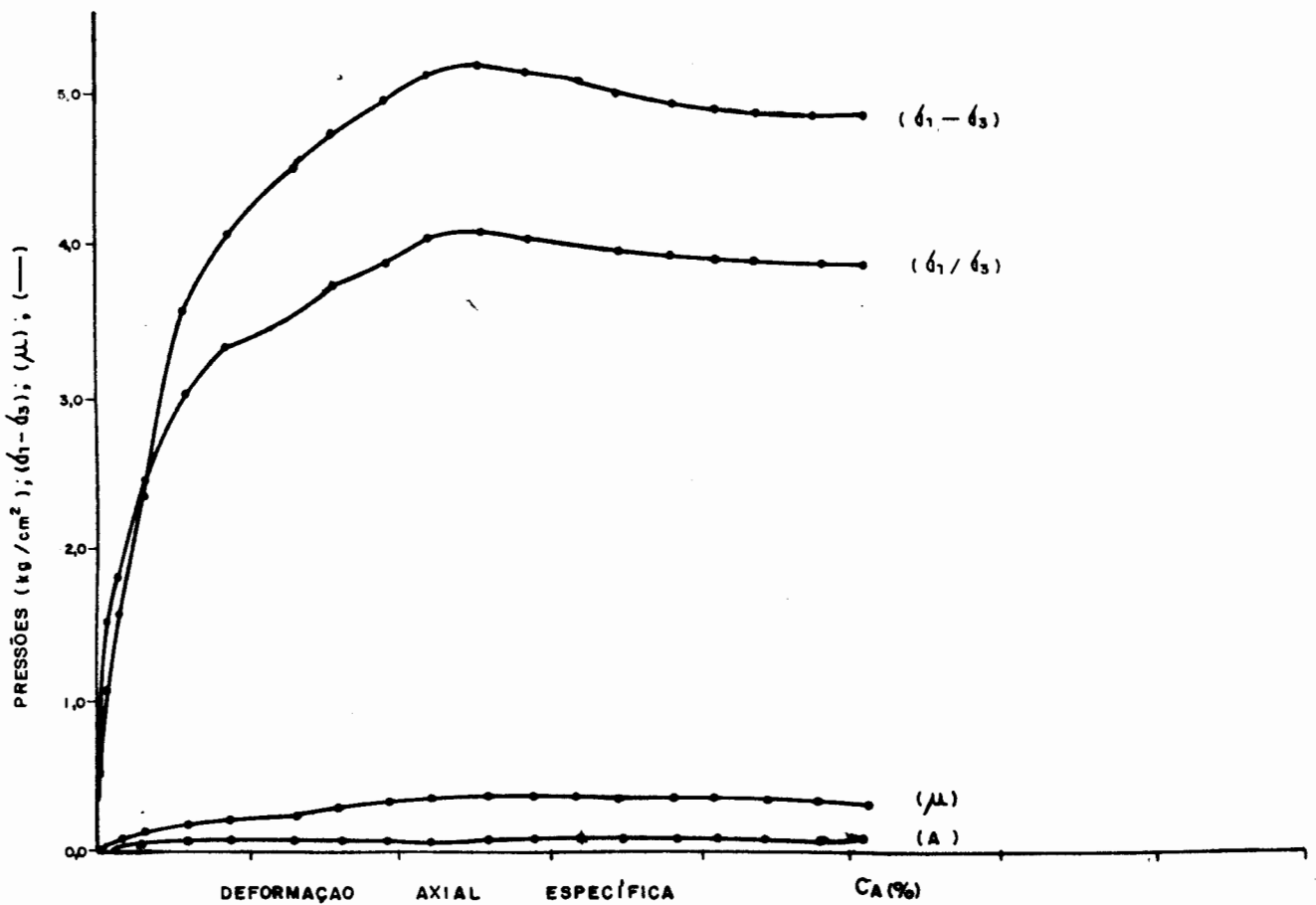
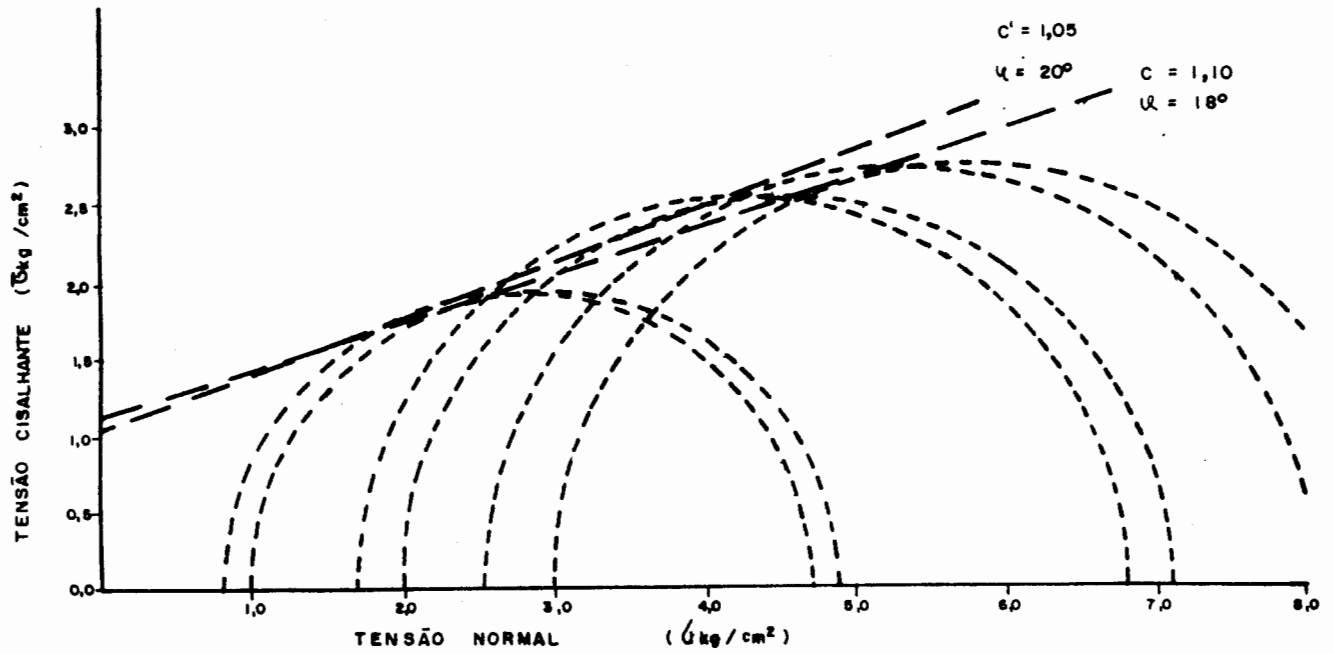
Os ensaios de compactação foram executados a partir de amostras obtidas em cortes de estrada. Duas camadas forneceram o material para os ensaios: uma, argilo-arenosa de cor vermelha e outra, argilo-arenosa de cor variegada e esbranquiçada. A camada vermelha está sobreposta a de cor variegada. As amostras foram coletadas em pequenas profundidades.

A partir da utilização de 14 ensaios de Proctor Modificado obteve-se para a camada argilo-arenosa vermelha CBR variando de 16 até 63 com média em torno de 40, porém com grande variabilidade em torno da média. A umidade ótima média foi de 14,0%, variando de 11,6 a 15,9% e a densidade máxima média foi de  $1,93 \text{ g/cm}^3$ , com um mínimo de 1,80 e um máximo de  $2,02 \text{ g/cm}^3$ . A expansão média foi de 1,0%, variando de 0,14 até 2,30%.

TABELA 05 - Resultados dos ensaios triaxiais, valores de  $c$ ,  $c'$ ,  $\phi$  e  $\phi'$

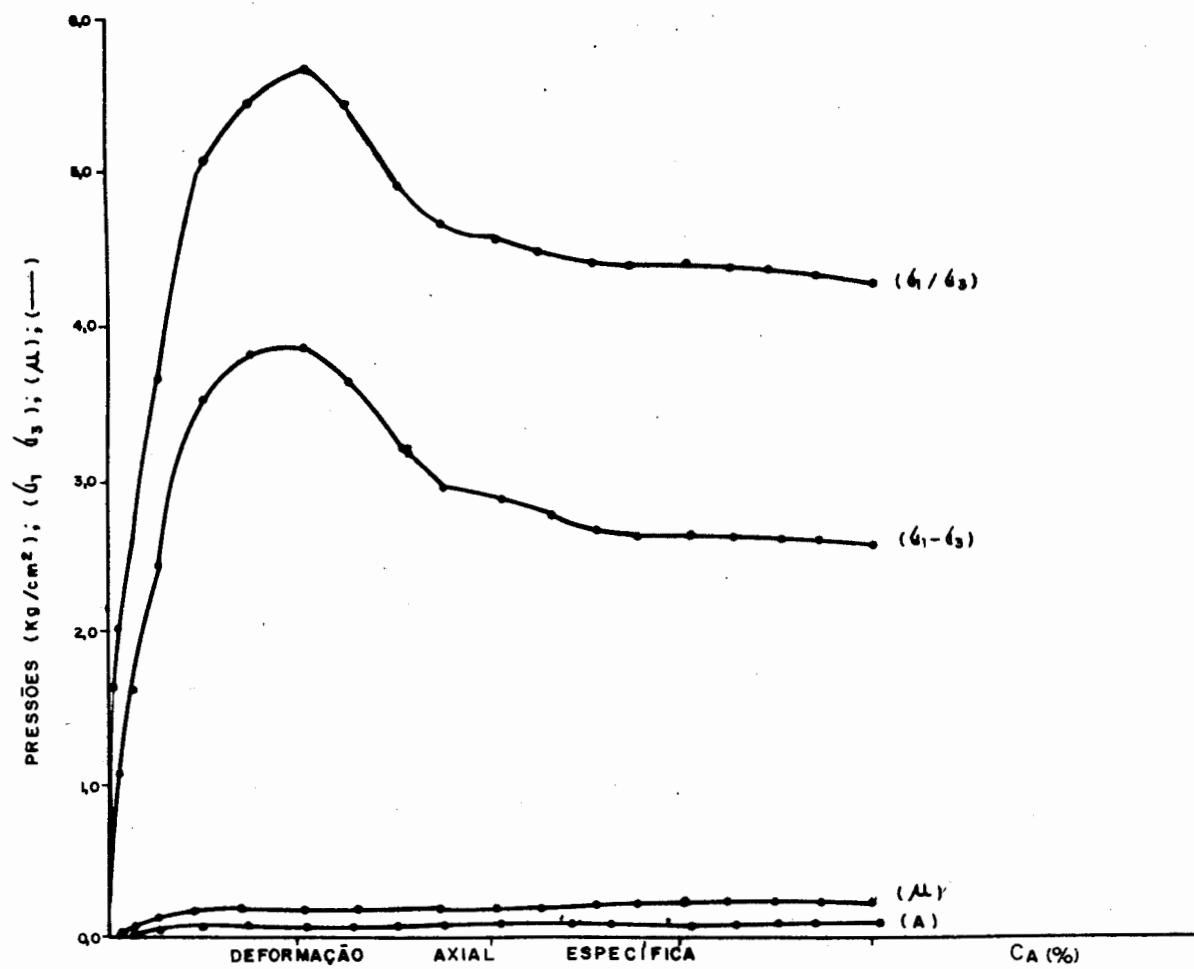
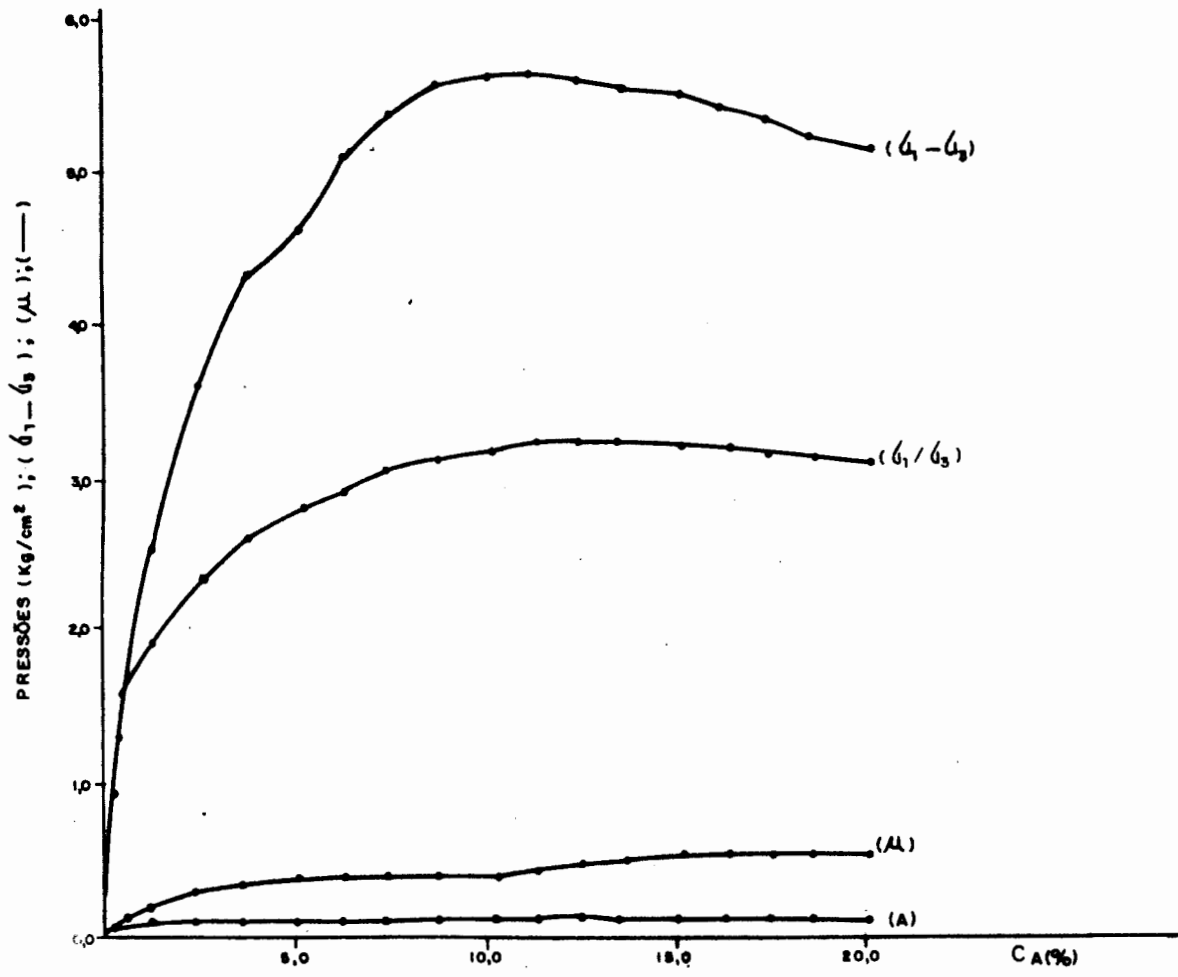
Furo	Amostra	$c$ kg/cm <sup>2</sup>	$c'$ kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ (°)	$\phi'$ (°)
107/78	1	0,15	0,00	34	37
107/78	3	0,00	0,00	33	36
108/78A	1	0,00	0,00	43	45
108/78A	2	0,00	0,00	34	36
108/78A	3	0,00	0,00	41	43
203/78	2	0,90	0,90	24	26
204/78	1	0,40	0,30	26	30
204/78	2	0,00	0,00	28	30
213/78	1	1,10	1,05	18	20
213/78A	1	0,00	0,00	38	41
214/78	2	0,17	0,00	15	22
215/78	1	0,30	0,10	17	30
215/78	2	0,00	0,00	15	26
216/78	1	0,45	0,50	7	7
216/78	2	0,00	0,00	25	35
217/78	1	1,90	1,70	8	12
217/78	2	0,40	0,30	23	29
218/78A	1	0,94	0,83	9	11
218/78A	3	0,00	0,00	26	30
218/78	1	0,85	0,85	15	17
218/78	2	0,90	0,23	22	35
218/78	3	0,00	0,00	9	14
219/78	1	0,70	0,30	28	38
219/78	2	0,40	0,45	8	13
219/78	3	0,15	0,15	17	22
220/78	1	0,00	0,00	30	34
221/78	1	1,50	1,30	20	23
221/78	2	0,10	0,10	9	13
221/78	3	0,38	0,35	7	9
222/78	1	1,79	1,35	7	10
222/78	2	0,25	0,25	24	27
222/78	3	1,80	1,70	16	21

Fig.17— Resultado do ensaio de compressão triaxial, tipo CU com medida de <sup>57</sup> pressão neutra, em solo residual da Formação Rosário do Sul, sondagem S 213/78, amostra um(1), cota 29 metros.



- C e C' — Coesão e coesão efetiva.
- $\phi$  e  $\phi'$  — Angulo de atrito e angulo de atrito efetivo.
- A — Parametro A de pressao neutra.
- $\mu$  — Tensao neutra
- $\sigma_1 / \sigma_3$  — Razão entre as tensões principais efetivas.
- $\sigma_1 - \sigma_3$  — Deviator de tensões

Fig.17a - Resultado do ensaio de compressão triaxial, sondagem S-213/78, amostra um, cota 29m. em solo residual da Formação Rosário do Sul.



$\sigma_1 / \sigma_3$  - Razão entre as tensões principais efetivas

$\sigma_1 - \sigma_3$  - Deviator de tensões

TABELA 06 - Resultados dos ensaios triaxiais do tipo UU com os valores de  $c$  e  $\phi$ .

Furo	Amostra	corpo de prova	eo	S (%)	$\sigma_3 f_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$(\sigma_1 - \sigma_3) f_2$ kg/cm <sup>2</sup>	$(\epsilon_A) f$ %	C kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$
201/78	1	1	0,64	100	1,00	1,00	0,200		
		2	0,74	97	2,00	1,24	0,700		
		3	0,66	100	3,00	1,60	0,400		
201/78	2	1	0,80	96	1,00	1,39	0,319	0,45	10
		2	0,82	97	2,00	1,98	0,300		
		3	0,74	100	3,00	2,32	0,400		
202/78	3	1	0,73	100	1,00	1,11	0,700	0,25	12
		2	0,71	87	2,00	1,81	1,700		
		3	0,73	100	3,00	2,29	0,600		



Observa-se que para esta camada os valores de CBR são muito bons e a expansão indica que este material serve tanto para sub-leitos como para sub-bases, sendo que em alguns locais serve também para bases.

Para a camada argilo arenosa variegada e esbranquiçada o comportamento do material, revelado na análise de 4 ensaios CBR a partir do Proctor Modificado, é bastante contrastante em relação à primeira camada estudada. O CBR médio foi em torno de 5,5 com grande variabilidade, desde 2 até 14, sendo que 2 ensaios indicaram o valor 2, um o valor 4 e o outro 14, denotando a predominância de valores baixos de CBR. A expansão média foi em torno de 9,53%, variando de 3,53 até 12,20%, o que indica que o material é impróprio para sub-leitos, sub-bases e bases. A grande expansibilidade deste material deve-se a presença de argilas expansivas do grupo das esmectitas, provavelmente montmorilonitas. A umidade ótima média foi de 17,5%, variando de 11,7 até 22,5% e a densidade máxima média foi de 1,73 g/cm<sup>3</sup>, variando de 1,58 até 1,95 g/cm<sup>3</sup>.

#### 4.4.6 - Resultados dos Ensaios de Penetração Dinâmica (SPT)

Os valores do índice de resistência à penetração N obtidos neste ensaio estão distribuídos irregularmente pelo solo residual estudado.

Os valores mínimos registrados de N foram próximos a 2 e os valores máximos maiores do que 50, muitas vezes alcançando valores em torno de 70, até o impenetrável à percussão.

Esta variação ocorreu tanto na vertical como na horizontal e de um modo geral, os valores de N cresceram com a profundidade. No entanto, nas camadas próximas à superfície, ocorre a elevação brusca dos valores de N, voltando a decair após ultrapassar este nível mais resistente. Este súbito aumento, possivelmente, é decorrência de uma cimentação calcítica e/ou ferruginosa existente nos níveis superficiais.

Devido a distribuição extremamente irregular de N, não há possibilidades de adoção de valores médios de N. Pode-se, no entanto, dizer que com relação a consistência das camadas que constituem este solo as mesmas são de média a mole,

com níveis de elevada resistência e muito resistentes nas proximidades da rocha alterada.

#### 4.4.7 - Resultados dos Ensaios de Penetração Estática (CPT)

Os valores de resistência de ponta ( $R_p$ ) encontrados no ensaio CPT distribuem-se irregularmente pelo solo residual estudado, da mesma forma que os valores de N mencionados anteriormente.

Os valores mínimos registrados são da ordem de  $10 \text{ kg/cm}^2$  e os máximos em torno de  $200 \text{ kg/cm}^2$ .

Nos níveis de elevada resistência, próximos à superfície, também encontram-se valores extremos de  $R_p$ , voltando a decair após a ultrapassagem dos mesmos e paulatinamente crescendo com a profundidade atingindo valores excepcionais nas camadas impenetráveis à percussão, onde encerra-se também este ensaio.

Os valores de atrito lateral obtidos comportam-se da mesma maneira do que  $R_p$ , atingindo valores, no entanto, bastante inferiores, situando-se entre um mínimo de  $0,5 \text{ kg/cm}^2$  e um máximo de  $13,0 \text{ kg/cm}^2$ . Observa-se, no entanto, que nem sempre os máximos valores de atrito lateral correspondem aos máximos valores de resistência de ponta.

#### 4.4.8 - Resultados dos Ensaios Pressiométricos

Foram analisados 61 ensaios pressiométricos distribuídos irregularmente no solo residual da Formação Rosário do Sul, na área da Central de Matérias Primas - CEMAP, do IIIº Pólo Petroquímico.

Os valores obtidos para o Módulo Pressiométrico, E, variaram desde um mínimo de  $8 \text{ kg/cm}^2$  até um máximo de  $1960 \text{ kg/cm}^2$  com média em torno de  $306 \text{ kg/cm}^2$  e com grande dispersão dos valores em torno da média.

Os valores da Pressão Limite de Ruptura,  $P_l$ , variaram desde um mínimo de  $1,1 \text{ kg/cm}^2$  até um máximo de  $51,5 \text{ kg/cm}^2$  com média em torno de  $15,7 \text{ kg/cm}^2$ .

Pode-se constatar, de um modo geral, que a medida que os valores do índice de resistência à penetração, N, obti-

dos de ensaios de penetração dinâmica executados a um metro de distância dos ensaios pressiométricos cresciam, aumentavam os valores do Módulo Pressiométrico e da Pressão Limite de Ruptura. Este aumento ocorre de forma bastante irregular não correspondendo a uma variação linear, portanto não existindo correlação linear entre N e E ou Pl.

Em camadas próximas à superfície, da mesma forma que ocorreu com o Índice de resistência à penetração, há um aumento dos valores do Módulo Pressiométrico e da Pressão Limite de Ruptura e ao ultrapassar esta camada a seguir decaem os seus valores, voltando a aumentar com a profundidade. Este súbito aumento, destes valores, nas camadas superficiais, possivelmente é decorrência de uma cimentação calcítica e/ou ferruginosa nestes níveis.

## 5. ANÁLISE ESTATÍSTICA E CORRELAÇÕES ENTRE OS ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

### 5.1 - Considerações Gerais

Neste capítulo pretende-se estabelecer uma análise estatística dos ensaios de campo e laboratório, tentando dar uma visão geral do comportamento das características geotécnicas do solo residual da Formação Rosário do Sul ocorrente na área estudada. Além disso, procurou-se estabelecer algumas correlações entre os parâmetros encontrados nos ensaios que são realmente correlacionáveis, visando possibilitar a utilização de alguns desses elementos de forma indireta através das correlações estabelecidas para o solo estudado. Sendo assim, analisaram-se, inicialmente, os resultados obtidos através de médias aritméticas, desvio padrão, coeficiente de variação, intervalos de confiança e diagramas de controle de qualidade e, posteriormente, foram estabelecidas correlações usando os métodos de regressão linear simples e múltipla.

### 5.2 - Análise Estatística dos Ensaios de Laboratório

As amostras analisadas no laboratório de solos da TECNOSOLO S.A., foram coletadas de 30 sondagens a percussão com circulação d'água, com amostradores padrão do ensaio de penetração dinâmica e amostradores tipo "Denison". Embora existam mais de 1000 sondagens na área, poucas amostras foram ensaiadas em laboratório.

As sondagens estão distribuídas irregularmente no terreno, não obedecendo nenhuma malha ou padrão pré-estabelecido. Foram ensaiadas uma, duas ou três amostras por sondagem, de acordo com os interesses das empresas contratantes do serviço.

Procedeu-se um estudo estatístico das características geotécnicas obtidas nos ensaios laboratoriais utilizando-

-se diagramas de controle de qualidade para analisar variações dos valores observados e calculando médias, desvio-padrão e coeficiente de variação dos parâmetros estimados.

### 5.2.1 - Diagrama de Controle de Qualidade dos Ensaios Executados - Cálculo dos limites inferior e superior de controle

Para comparar as médias dos valores observados usando duas ou três amostras nas várias sondagens examinadas, utilizou-se a técnica dos diagramas de controle de qualidade.

Estes diagramas estão baseados no cálculo de dois limites - limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC) - entre os quais se espera que devam estar incluídos aproximadamente 99% das médias calculadas. Se mais de uma amostra de aproximadamente 30 sondagens estiverem fora destes limites, poder-se-á dizer que os valores "não estão sob controle" e, após examinar sua procedência para investigar possíveis irregularidades, poderão ser eliminadas da análise.

Supõe-se que o parâmetro analisado segue aproximadamente uma distribuição normal com uma média  $\mu$  e um desvio padrão  $\sigma$ , o que significa que a média  $\bar{X}$  segue também uma distribuição normal com a mesma média  $\mu$  e um desvio-padrão  $\sigma/\sqrt{n}$ , onde  $n$  é o tamanho da amostra. Pode-se, então, formar a variável reduzida (padronizada)

$$Z = (\bar{X} - \mu) / \sigma / \sqrt{n} \quad (1)$$

que segue uma distribuição normal com média zero e desvio padrão igual a um. Usando a tabela da função normal se tem que

$$\text{Pr} (-3 \leq Z \leq 3) = 0,997 \quad (2)$$

isto é, a probabilidade que  $Z$  está incluída no intervalo  $-3$  a  $3$  é  $0,997$ . Satisfazendo (1) e (2) se obtém

$$\text{Pr} \left( \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \bar{X} \leq \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) = 0,997 \quad (3)$$

isto é, a probabilidade que a média de  $n$  observações está incluída no intervalo  $\mu \pm 3 \sigma / \sqrt{n}$  é  $0,997$ .

Os valores de LSC e LIC, obtidos em NANNI (1981)<sup>22</sup>, são:

$$\text{LSC} = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

$$\text{LIC} = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Tendo-se um suficiente número de médias  $\bar{X}_i$ , pode-se estimar  $\mu$  e  $\sigma$  por  $\bar{X}$  e  $S_c$ , respectivamente, os quais são valores ponderados dos valores observados.

Obtem-se então:

$$\text{LSC} = \bar{X} + 3 S_c / \sqrt{n} \quad (5)$$

$$\text{LIC} = \bar{X} - 3 S_c / \sqrt{n}$$

Como em geral há um erro na estimativa de  $\mu$  e  $\sigma$  diz-se, em forma conservadora, que o intervalo definido por (5) inclui aproximadamente 99% das médias  $\bar{X}$  em vez de 99,7% anteriormente mencionado.

### 5.2.2 - Determinação da Média $\bar{X}$ e Desvio Padrão $S_c$

Para evitar o uso de diferentes valores de  $\bar{X}$  e  $S$ , dependendo se  $n$  é igual a dois ou a três, se analisar-se-ão em primeiro lugar os valores de  $S$  e  $\bar{X}$  por meio das distribuições de "F" e de "Student-t", respectivamente e se a diferença não for significativa para um nível de  $\alpha=0,05$  de probabilidade, combinar-se-ão os valores de  $\bar{X}$  e de  $S$ , para se usar apenas um valor de  $\bar{X}$  e um valor de  $S$  em (5) para os dois casos,  $n=2$  e  $n=3$ . Desta maneira obter-se-á também estimações de  $\mu$  e  $\sigma$  baseadas em um número maior de medições.

O procedimento para provar essas hipóteses de igualdade de médias e desvios padrão proposto em NANNI (op. cit), é o seguinte:

Seja	n=2	n=3
média	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$
desvio padrão	$S_1$	$S_2$
nº de médias	$K_1$	$K_2$
nº de observações	$m_1=2K_1$	$m_2=3K_2$

- Prova de igualdade dos desvios padrão

a) Calcula-se  $F=S_1^2/S_2^2$ , usando o maior valor de  $S_1$  e  $S_2$  no numerador;

b) compara-se  $F$  com o valor tabular de  $F_{0,05} (m_1 - 1, m_2 - 1)$  obtido na tabela de distribuição  $F$ ;

c) se  $F$  é menor do que o seu valor tabular, conclui-se que a igualdade de desvios padrão pode ser aceita. Então, calcula-se um valor comum  $S_c$  dado por:

$$S_c^2 = [(m_1 - 1) S_1^2 + (m_2 - 1) S_2^2] / (m_1 + m_2 - 2) \quad (6)$$

- Prova de igualdade das médias

$$a) \text{ Calcula-se } t = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) / S_c \sqrt{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} \quad (7)$$

supondo-se que os desvios padrão sejam iguais;

b) compara-se  $|t|$  com o valor  $t_{0,025} (m_1 + m_2 - 2)$  da do pela tabela de distribuição de "Student-t" com  $m_1 + m_2 - 2$  graus de liberdade;

c) se  $|t| < t_{0,025} (m_1 + m_2 - 2)$ , conclui-se que a hipótese de igualdade de médias pode ser aceita. Calcula-se o valor comum

$$\bar{\bar{X}} = (m_1 \bar{X}_1 + m_2 \bar{X}_2) / (m_1 + m_2) \quad (8)$$

A menos que os desvios padrão difiram muito significativamente, com um valor de  $\alpha < 0,01$ , pode-se seguir satisfatoriamente o procedimento indicado.

- Exemplo de cálculo

Tomando como exemplo o cálculo envolvendo o Limite de Liquidez, temos:

$n = 2$	$n = 3$
$\bar{X}_1 = 52,9\%$	$\bar{X}_2 = 53,3\%$
$S_1 = 12,97$	$S_2 = 10,05$
$K_1 = 12$	$K_2 = 10$
$m_1 = 24$	$m_2 = 30$

- Prova de igualdade dos desvios padrão:

$$a) F = 12,97^2 / 10,05^2 = 1,67;$$

b)  $F_{0,05} (23,29) = 1,98 > F$ , então  $S_1$  e  $S_2$  não diferem significativamente, pode-se calcular  $S_c$ ;

$$c) S_c = \sqrt{29 \times (10,05^2) + 23 \times (12,97)^2 / 52} = 11,43$$

- Prova da igualdade das médias

$$a) t = (53,3 - 52,9) / 11,43 \sqrt{\frac{1}{30} + \frac{1}{24}} = 0,12 ;$$

$$b) t_{0,025} (52) = 2,00 ;$$

c)  $|t| < t_{0,025} (52)$ , então  $\bar{X}_1$  e  $\bar{X}_2$  não diferem significativamente, pode-se calcular  $\bar{X}$

$$\bar{X} = (30 \times 53,3 + 24 \times 52,9) / 54 = 53,12\%$$

### 5.2.3 - Resultados da Análise das Médias e dos Desvios Padrão

Deve-se esclarecer novamente que as amostras para os ensaios foram obtidas de sondagens, com uma, duas e três amostras por sondagem. Nesta análise, procurou-se observar se as médias e desvios padrão diferem significativamente quando analisadas em sondagens com duas e três amostras. Quando não diferem, toma-se a média e o valor combinado do desvio padrão introduzindo estes valores num diagrama de controle de qualidade, conforme o estabelecido.

Na tabela 07 estão expressos os resultados obtidos nesta análise e nas figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 e 31 os diagramas de controle de qualidade. Foram utilizadas as seguintes simbologias na apresentação dos diagramas de controle de qualidade e tabelas:

$n = n^\circ$  de sondagens;  $n_1$  para duas amostras/sondagem e  $n_2$  para três amostras/sondagem;

$m = n^\circ$  de observações;  $m_1$  para duas amostras/sonda-



TABELA 07 - Resultados da análise dos diagramas de controle de qualidade

	quantidade de areia (%)	quantidade de silte + argila (%)	peso específico g/cm <sup>3</sup>	massa específica aparente da amostra úmida (g/cm <sup>3</sup> )	massa específica aparente da amostra seca (g/cm <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	IP (%)
n <sub>1</sub>	12	12	12	12	11	12	12	12
$\bar{X}_1$	48,5	51,45	2,63	1,83	1,41	52,9	25,9	27
S <sub>1</sub>	9,39	9,39	0,04	0,09	0,09	12,97	5,77	8,80
n <sub>2</sub>	10	10	10	6	6	10	10	10
$\bar{X}_2$	48,8	51,12	2,65	1,83	1,41	53,3	25,0	25,0
S <sub>2</sub>	7,50	7,50	0,02	0,04	0,07	10,5	6,37	6,37
$\bar{X}$	48,66	51,34	2,64	1,83	1,41	53,12	25,4	25,8
Sc	8,38	8,38	0,03	0,07	0,08	11,43	6,11	7,54

	índice de vazios	índice de compressão	índice de expansão	coesão kg/cm <sup>2</sup>	coesão efetiva kg/cm <sup>2</sup>	ângulo de atrito (φ°)
n <sub>1</sub>	8	8	8	7	7	7
$\bar{X}_1$	0,85	0,70	0,027	0,41	0,346	21,9
S <sub>1</sub>	0,13	0,06	0,01	0,368	0,347	7,39
n <sub>2</sub>	6	6	6	5	5	5
$\bar{X}_2$	0,88	0,22	0,03	0,58	0,468	19,9
S <sub>2</sub>	0,09	0,05	0,01	0,464	0,409	10,99
$\bar{X}$	0,86	0,21	0,028	0,49	0,41	20,8
Sc	0,11	0,05	0,01	0,42	0,380	9,42

Fig. 18- Diagrama de controle de qualidade para quantidade de areia (s).

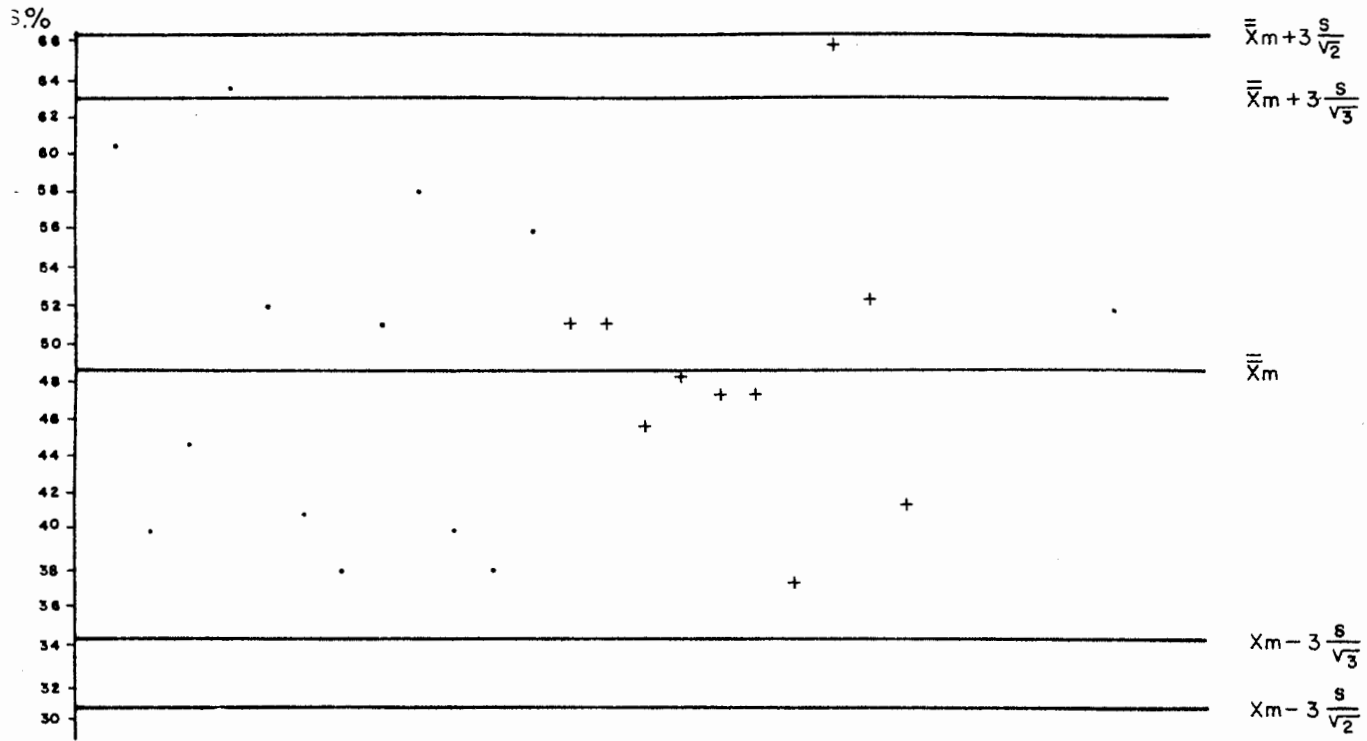


Fig. 19- Diagrama de controle de qualidade para quantidade de silte (M) e argila (C).

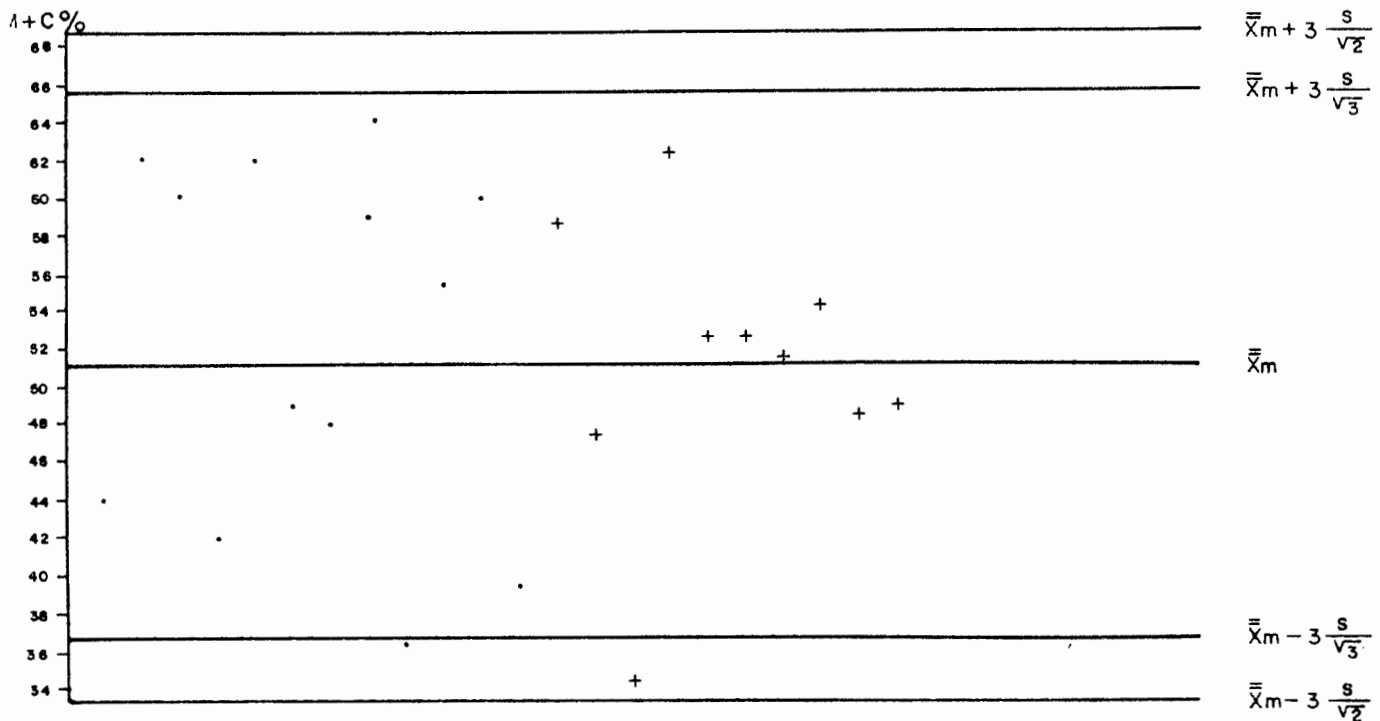


Fig.20— Diagrama de controle de qualidade para o peso específico ( $\delta$ ).

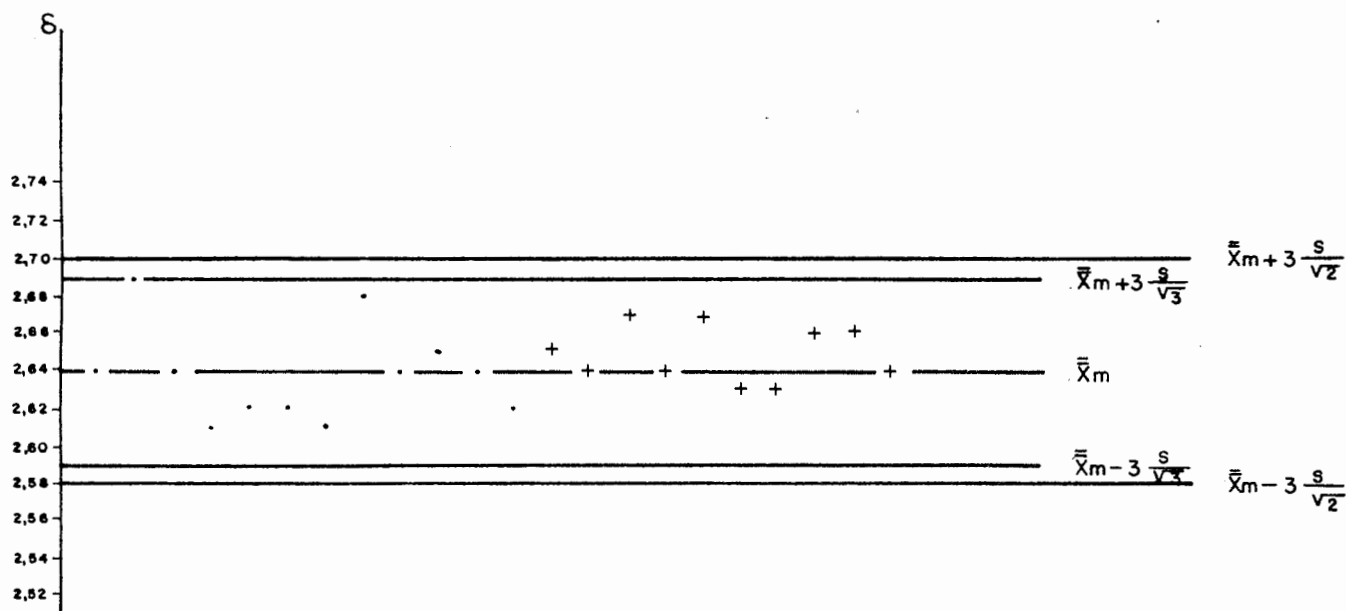


Fig.21— Diagrama de controle de qualidade para a massa específica aparente da amostra úmida ( $\delta_h$ ).

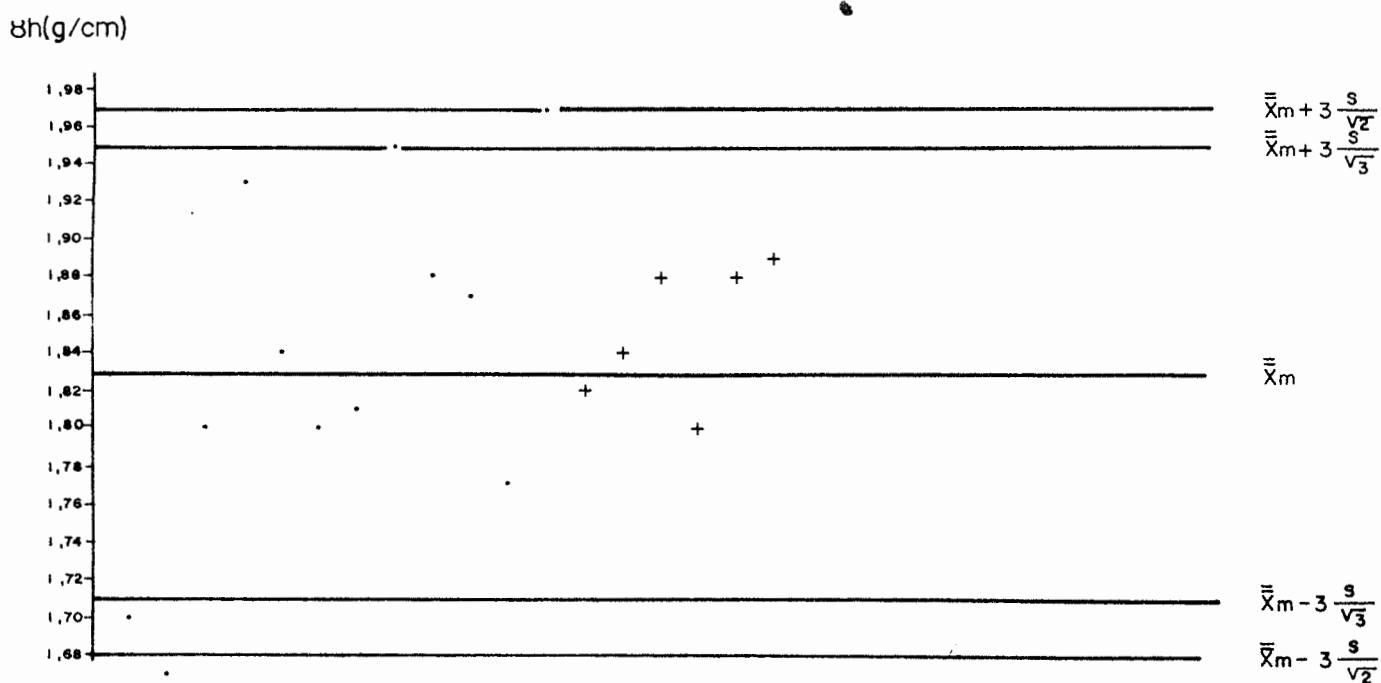


Fig.22 — Diagrama de controle de qualidade para a massa específica aparente da amostra seca (ss).

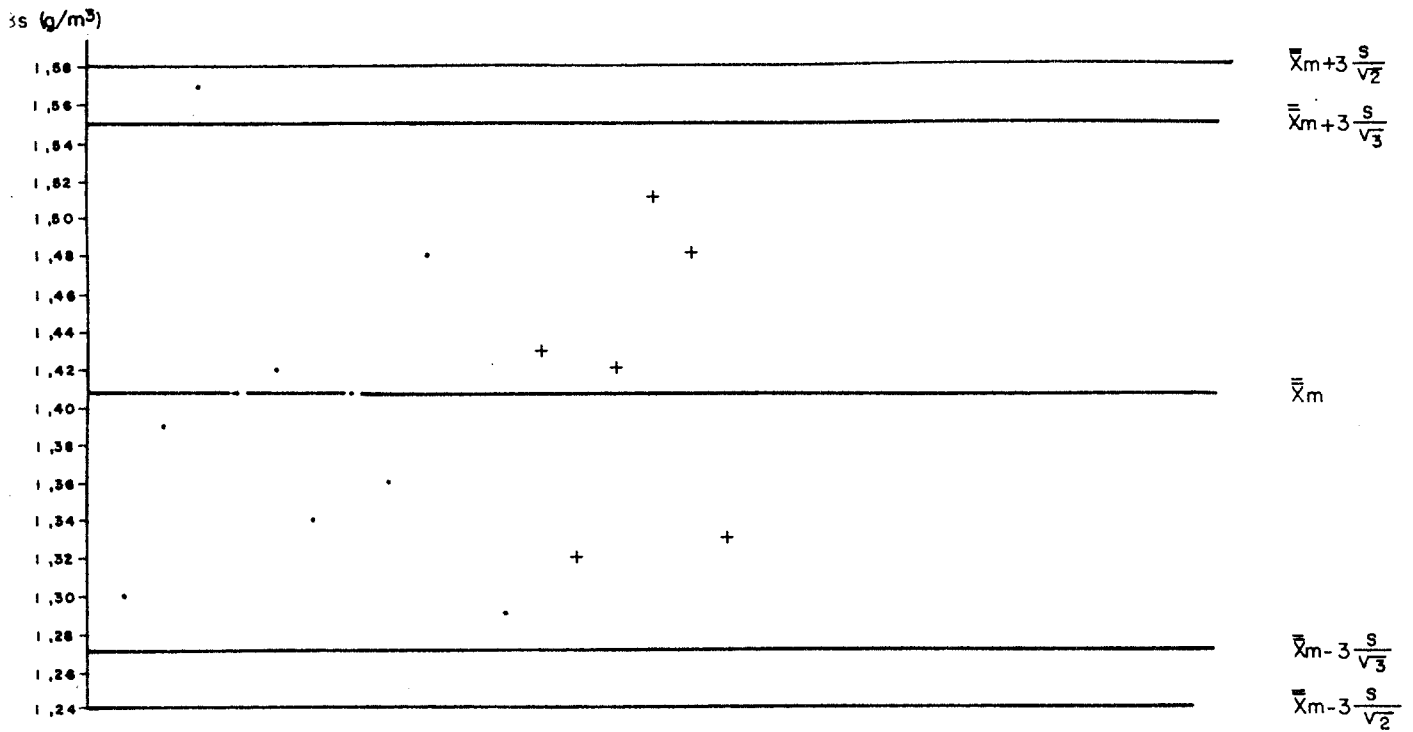


Fig.23 — Diagrama de controle de qualidade para o limite de liquidez (LL).

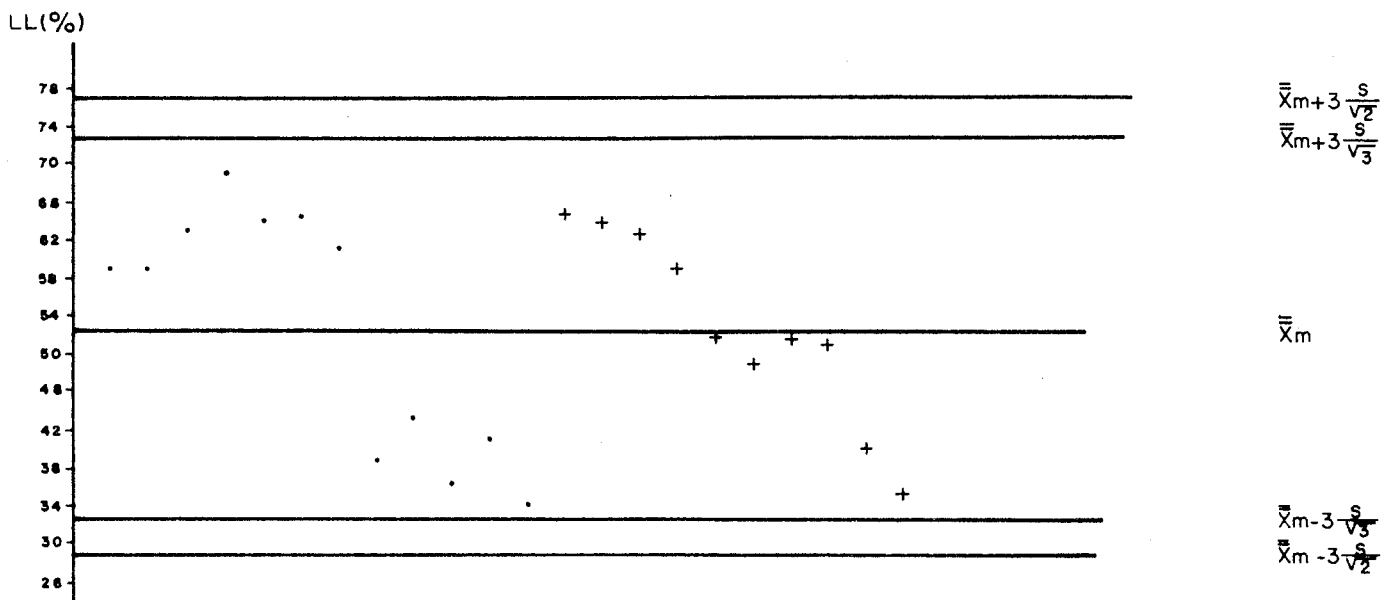


Fig. 24 — Diagrama de controle de qualidade para o limite de plasticidade (LP).

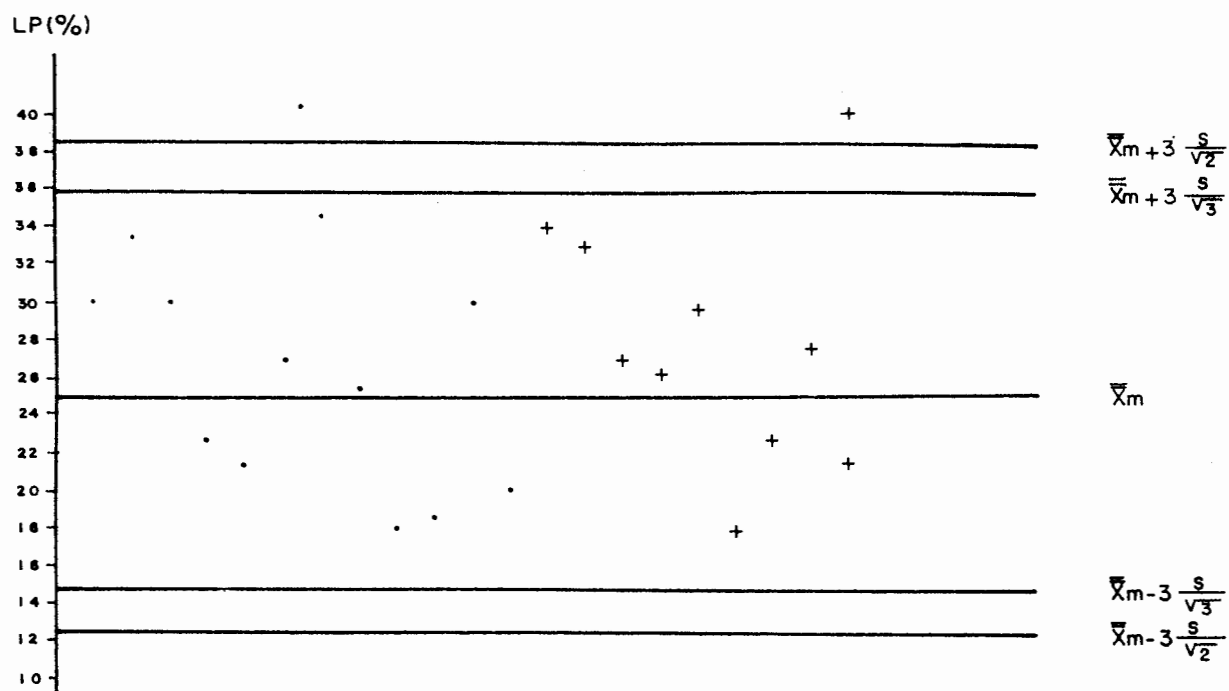


Fig. 25 — Diagrama de controle de qualidade para o índice de plasticidade IP(%)

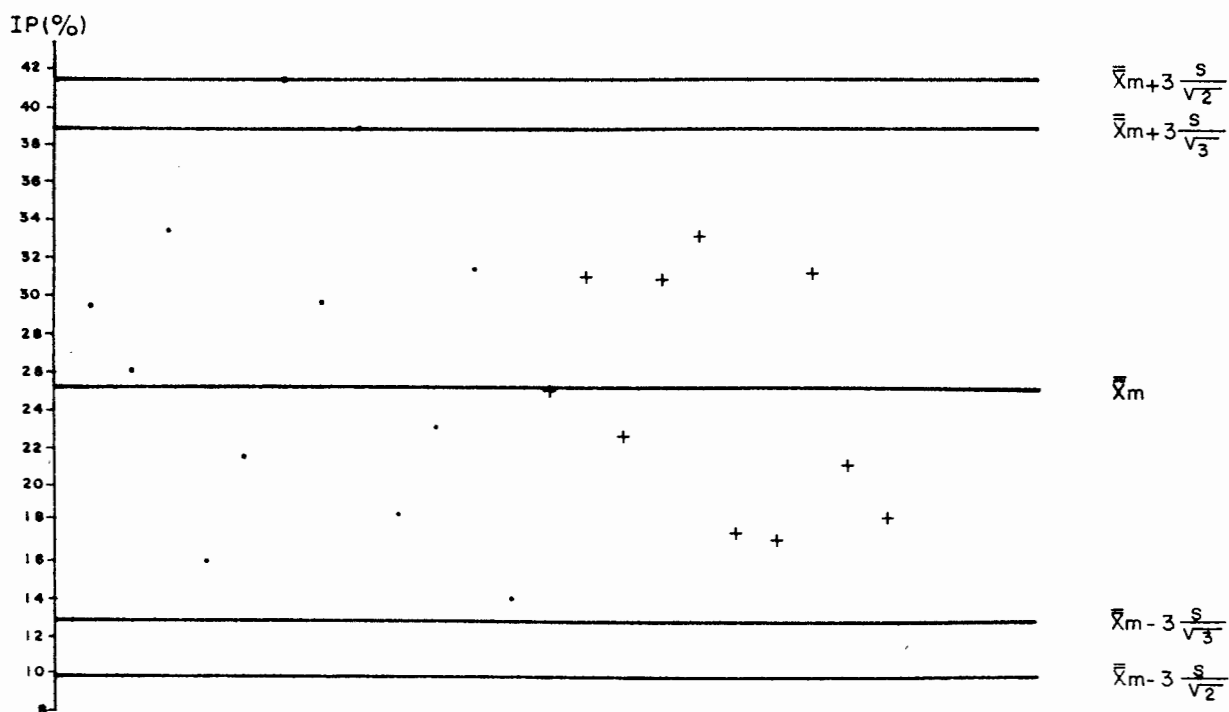


Fig. 26— Diagrama de controle de qualidade para o índice de vazios. (e).

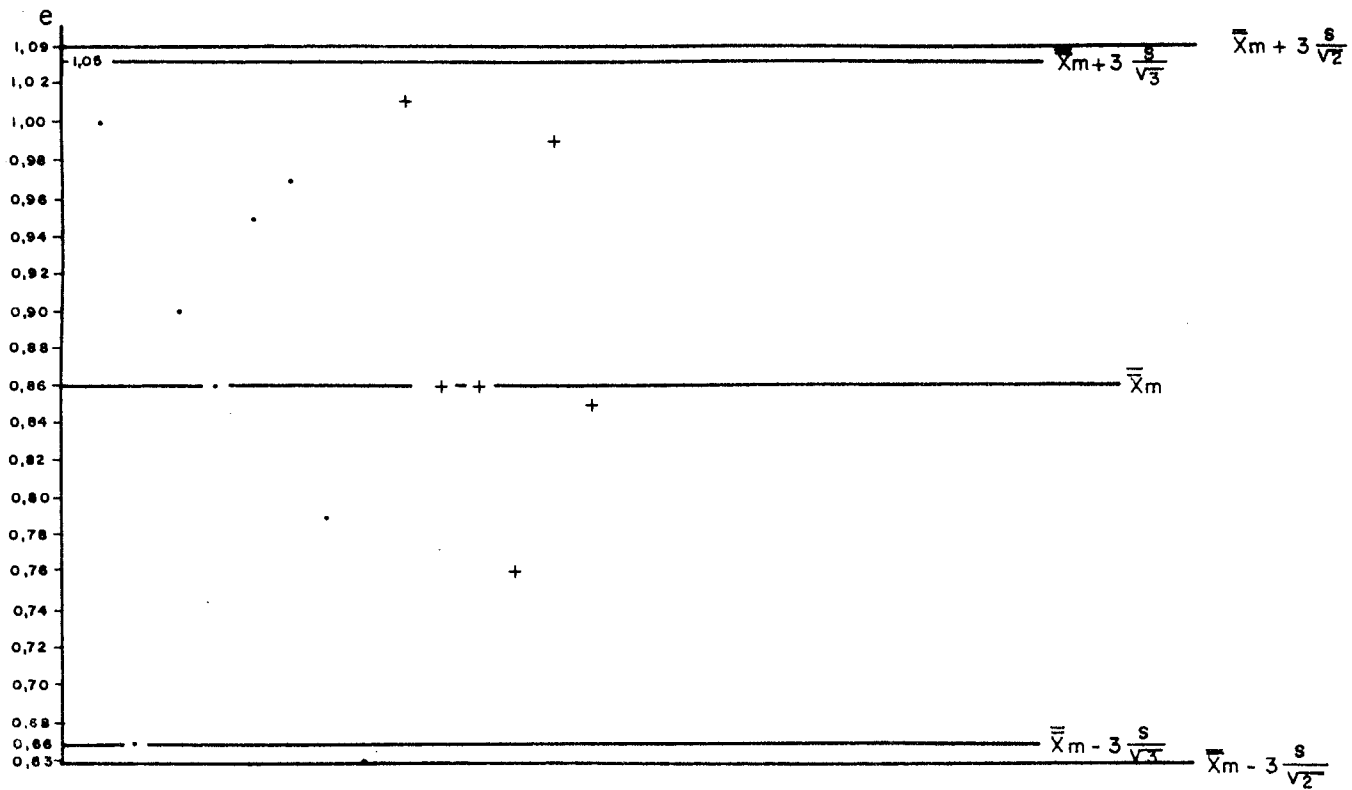


Fig. 27— Diagrama de controle de qualidade para o índice de compressão (Cc).

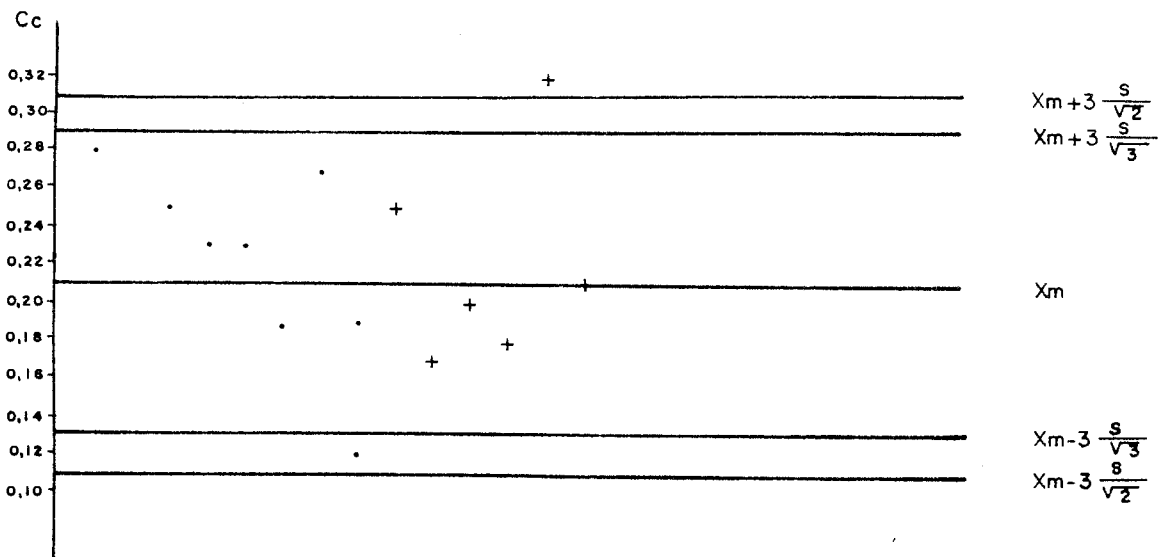
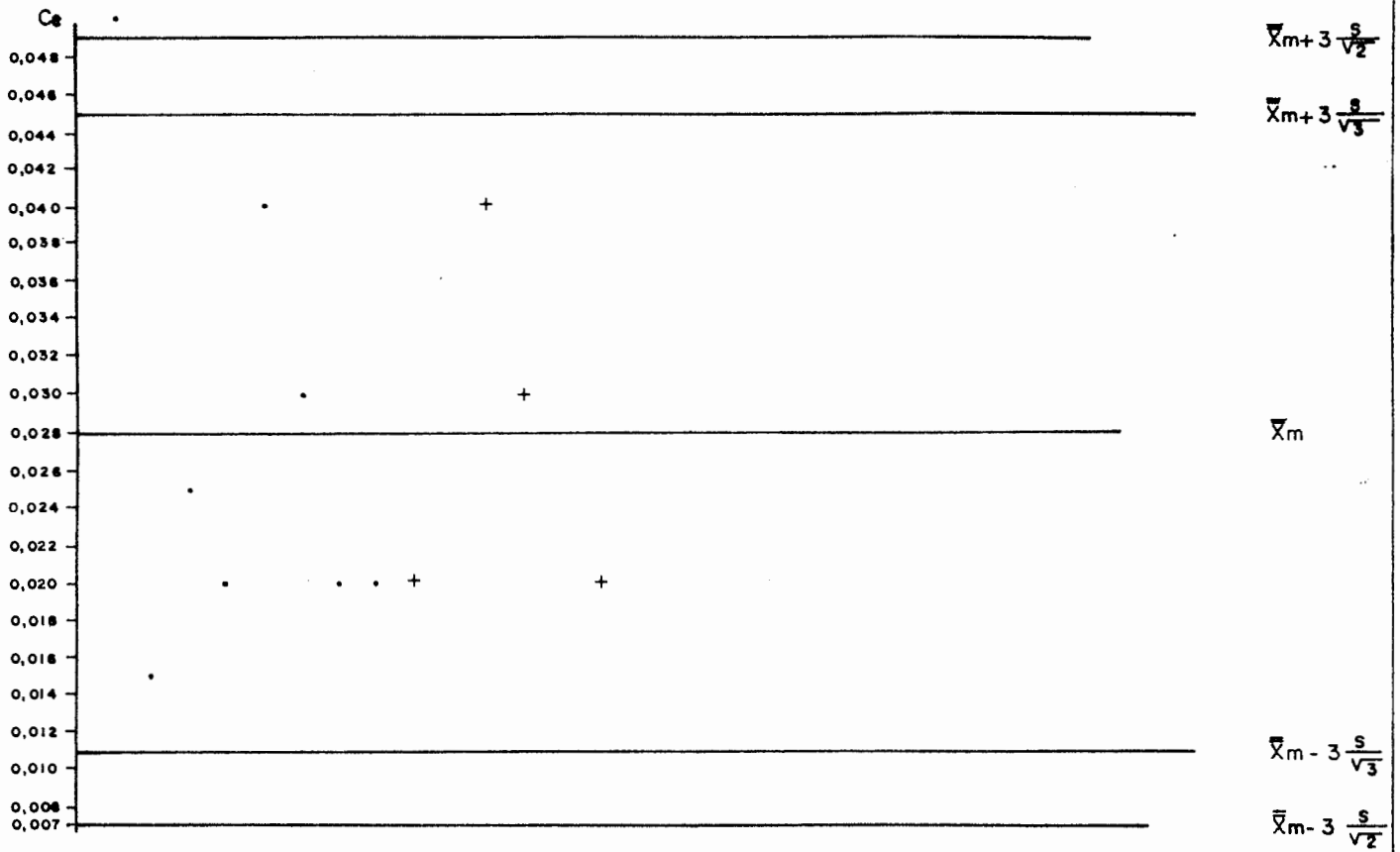


Fig. 28— Diagrama de controle de qualidade para o índice de expansão (Ce).



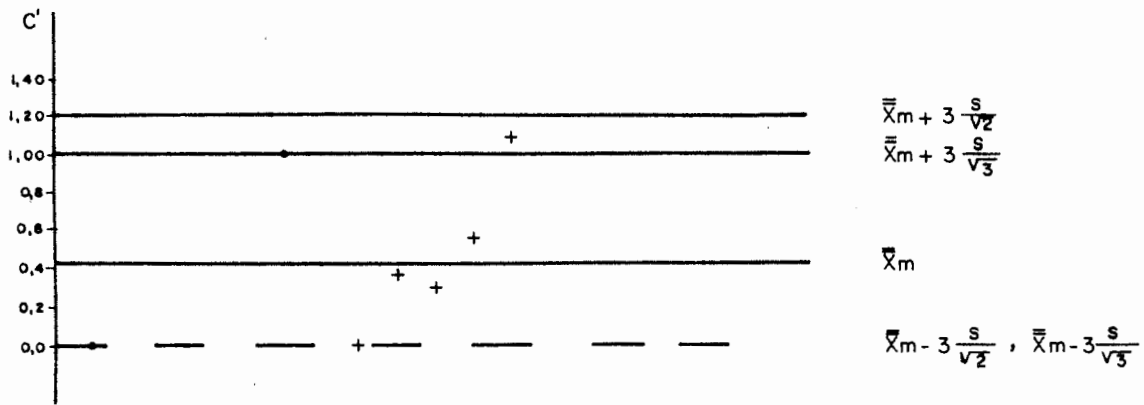
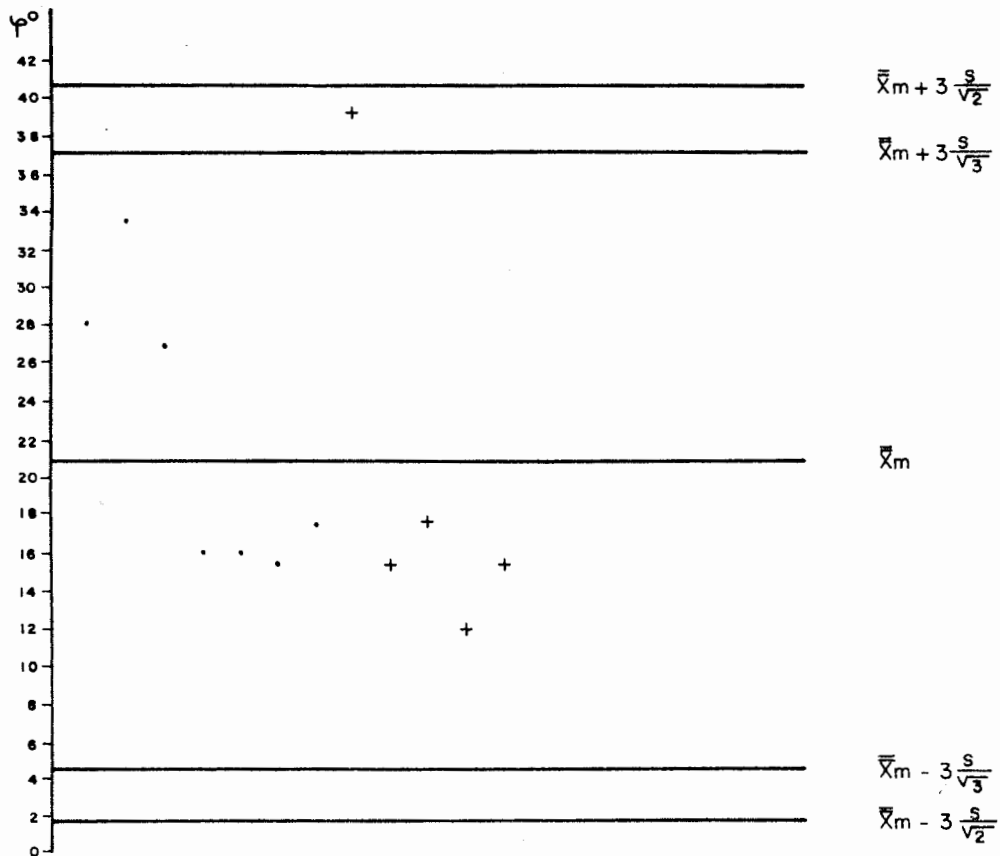


Fig. 31— Diagrama de controle de qualidade para o ângulo de atrito ( $\varphi^\circ$ ).





gem e  $m_2$  para três amostras/sondagem;

$\bar{X}_1$  = média dos valores com duas amostras por sondagem;

$\bar{X}_2$  = média dos valores com três amostras por sondagem;

$S_1$  = desvio padrão das observações baseadas em duas amostras por sondagem;

$S_2$  = desvio padrão das observações baseadas em três amostras por sondagem;

$\bar{X}$  = média de  $\bar{X}_1$  e  $\bar{X}_2$ ;

$S_c$  = desvio padrão combinado;

$F$  = razão das variâncias =  $S_1^2/S_2^2$ ;

$t = |\bar{X}_1 - \bar{X}_2| / S_c \sqrt{1/m_1 + 1/m_2}$  ;

$F_{0.05}$  = valor tabular da distribuição de F a 95%;

$t_{0.025}$  = valor tabular da distribuição "Student-t";

+ = média para três amostras por sondagem;

. = média para duas amostras por sondagem.

Usando o método explicado em 5.2.2 e observando-se a tabela 07 e diagramas de controle de qualidade, pode demonstrar-se que não existe diferenças significativas entre as médias e entre os desvios padrão das sondagens com duas ou três amostras. Observa-se, também, que a maioria das sondagens com três amostras apresentam valores de desvio padrão inferiores àqueles obtidos com duas amostras por sondagem, indicando que é preferível utilizar-se as sondagens com três amostras e que a maioria das médias com duas e três amostras estão dentro dos limites de controle.

Na tabela 08 estão expressos os resultados de coeficientes de variação e intervalo de confiança quando adotados os valores de  $\bar{X}$  e  $S_c$ , encontrados na análise dos diagramas de controle.

Em relação à análise de coeficientes de variação, optou-se pela adoção de padrão de qualidade recomendado para concreto pela NB-1/60, baseado em FUSCO (1977)<sup>16</sup>, que estabelece os seguintes critérios:

coeficiente de variação	padrão de qualidade
0,15	rigoroso
0,20	razoável
0,25	regular

TABELA 08 - Resultados de coeficientes de variação e intervalos de confiança utilizando-se  $\bar{X}$  e  $S_c$

	quantidade de areia (%)	quantidade de silte + areia (%)	peso específico $\frac{g}{cm^3}$	massa específica aparente da amostra úmida $\frac{g}{cm^3}$	massa específica aparente da amostra seca $\frac{g}{cm^3}$	LL (%)	LP (%)
n	54	54	42	42	40	54	54
$\bar{X}$	48,66	51,34	2,64	1,83	1,41	53,12	25,40
$S_c$	8,38	8,38	0,03	0,07	0,08	11,43	6,11
Cv	17,22%	16,32%	1,13%	3,82%	5,67%	21,52%	24,05%
IC	$46,43 \leq \mu \leq 50,89$	$49,11 \leq \mu \leq 53,57$	$2,631 \leq \mu \leq 2,649$	$1,81 \leq \mu \leq 1,85$	$1,39 \leq \mu \leq 1,43$	$50,06 \leq \mu \leq 56,14$	$23,77 \leq \mu \leq 27,03$

	IP (%)	índice de vazios	índice de compressão	índice de expansão	coesão $\frac{kg}{cm^2}$	coesão efetiva $\frac{kg}{cm^2}$	ângulo de atrito ( $^\circ$ )
n	54	34	34	34	29	29	29
$\bar{X}$	25,8	0,86	0,21	0,028	0,49	0,41	20,8
$S_c$	7,54	0,11	0,05	0,01	0,42	0,38	9,42
Cv	29,22%	12,79%	23,80%	35,71%	85,71%	92,68%	45,28%
IC	$23,79 \leq \mu \leq 27,81$	$0,83 \leq \mu \leq 0,89$	$0,20 \leq \mu \leq 0,22$	$0,025 \leq \mu \leq 0,031$	$0,34 \leq \mu \leq 0,64$	$0,27 \leq \mu \leq 0,55$	$17,4 \leq \mu \leq 24,2$

A escolha do concreto como padrão de qualidade deve-se ao fato de que o mesmo é relativamente mais homogêneo do que o solo e de certa forma é constituído pelos mesmos componentes que são encontrados no solo, com exceção do cimento portland.

Porém, mesmo utilizando-se os valores  $\bar{X}$  e  $S_c$ , a maioria dos resultados enquadram-se dentro de um baixo padrão de qualidade, segundo o padrão estabelecido, indo de razoável a regular e apenas o peso específico, a massa específica aparente da amostra seca e úmida apresentam um padrão de qualidade rigorosa.

Deve ser ressaltado que a não existência de um padrão de amostragem regular e definido evidencia um aspecto restritivo a análise estatística, implicando na variabilidade dos resultados e na sua confiabilidade.

#### 5.2.4 - Estimação de Parâmetros por Intervalo de Confiança

Para determinação do intervalo de confiança da média pode-se mostrar facilmente que se  $X$  segue uma distribuição normal com uma média  $\mu$  e um desvio padrão  $\sigma$ , o intervalo de confiança de  $\mu$  a um nível de probabilidade  $1-\alpha$ , baseado na média  $\bar{X}$  de  $n$  observações é

$$\bar{X} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (a)$$

isto é, com uma probabilidade igual a  $1-\alpha$  o intervalo (a) inclui a média teórica  $\mu$ .

Quando  $\sigma$  não é conhecido deve-se usar  $t_{\alpha/2} (n-1)$  em vez de  $z_{\alpha/2}$  e  $S$  em vez de  $\sigma$ . Em amostras relativamente grandes,  $n = 30$  se pode substituir  $S$  por  $\sigma$  e usar a distribuição normal em vez da distribuição de "Student-t".

#### 5.2.5 - Análises dos Intervalos de Confiança, Médias, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação Usando Todas as Amostras

Observa-se na tabela 09 os dados obtidos para a análise granulométrica e constata-se que os intervalos de confiança não podem ser considerados amplos notadamente para o material

siltoso, cujo intervalo de confiança é mais estreito.

Ou seja, para amostras grandes, em torno de 58, tomadas do solo residual em estudo, os valores médios de areia, silte e argila estariam compreendidos dentro do intervalo de confiança encontrado, a um nível de 95% de probabilidade. Constatase, também, que a fração arenosa (areias finas) dominam sobre a fração silte e argila; no entanto, é inferior à quantidade de finos (silte + argila). O desvio padrão de modo geral é bastante elevado, demonstrando que os valores médios devem ser usados com certa precaução. Em relação ao coeficiente de variação, pode-se dizer que, de acordo com os critérios estabelecidos anteriormente, denotam a grande variabilidade dos valores médios obtidos.

Na tabela 10, observa-se que os intervalos de confiança encontrados para peso específico, massa específica aparente da amostra úmida e massa específica aparente da amostra seca são bastante restritos, demonstrando que estes valores a um nível de 95% de probabilidade são bastante significativos quando se trabalha com um número grande de amostras, especialmente o peso específico. O desvio padrão é pequeno e o coeficiente de variação apresenta grande padrão de qualidade, inferiores a 10%, indicando a pequena variabilidade destes parâmetros no solo estudado.

Os resultados obtidos para os limites de Atterberg estão representados na tabela 11 onde, embora os intervalos de confiança não sejam muito amplos, para uma grande quantidade de observações (58), os valores médios devem ser utilizados com muita precaução tendo em vista os valores elevados de desvio padrão e do coeficiente de variação, especialmente em relação ao índice de plasticidade que apresenta um baixo padrão de qualidade.

Os valores obtidos através do ensaio de adensamento estão registrados na tabela 12. Nota-se que, com excessão do índice de compressão, os intervalos de confiança são amplos, mesmo com um número grande de observações. O desvio padrão, de certa forma, também apresenta-se elevado e o coeficiente de variação apresenta um padrão de qualidade de razoável a regu-

TABELA 09 - Intervalo de confiança, coeficiente de variação, média, desvio-padrão para a análise granulométrica

	Areia	Silte	Argila	Silte e areia
n	58	58	58	58
$\bar{X}$	48,86%	17,45%	33,69%	51,14%
S	13,12	6,88	11,32	13,12
Cv	26,85%	39,42%	33,60%	25,65%
Intervalo de confiança	$45,49 \leq \mu \leq 52,23$	$15,67 \leq \mu \leq 19,21$	$30,77 \leq \mu \leq 36,59$	$47,76 \leq \mu \leq 54,50$

n = nº de observações

$\bar{X}$  = média

S = desvio padrão

Cv = coeficiente de variação

$\mu$  = intervalo de confiança média

TABELA 10 - Intervalo de confiança, coeficiente de variação, média e desvio-padrão do peso específico e massa específica

	peso específico g/cm <sup>3</sup>	massa específica aparente da amostra úmida g/cm <sup>3</sup>	massa específica aparente da amostra seca g/cm <sup>3</sup>
n	58	58	58
$\bar{X}$	2,64	1,84	1,41
S	0,05	0,09	0,12
Cv	1,89%	4,89%	8,51%
intervalo de confiança	$2,63 \leq \mu \leq 2,65$	$1,81 \leq \mu \leq 1,87$	$1,37 \leq \mu \leq 1,45$

lar, demonstrando uma grande variabilidade dos valores médios encontrados.

Os resultados dos ensaios triaxiais estão expressos na tabela 13. Os intervalos de confiança são extremamente amplos para os parâmetros em questão, ou seja, mesmo para uma grande quantidade de observações, os valores médios estariam compreendidos em amplos intervalos a um nível de 95% de probabilidade. Somando-se a isto o fato de que o desvio padrão é bastante elevado e o coeficiente de variação excepcionalmente elevado, com um péssimo padrão de qualidade, pode-se dizer que existe uma enorme variabilidade dos valores médios encontrados, tornando inviável a sua utilização.

Com excessão do índice de expansão, os valores médios,  $\bar{X}$ , encontrados para os diferentes parâmetros, coincidiram com os valores médios envolvendo todas as amostras ou mostraram-se aproximadamente iguais.

Observa-se, ainda, que os desvios padrão encontrados na análise dos diagramas de controle de qualidade diferem significativamente dos mesmos desvios padrão determinados com todas as amostras. Isto é decorrente de que nesta análise não foram introduzidos os valores de sondagem com apenas uma amostra, indicando que a adoção destes valores contribuem para um aumento na variabilidade dos ensaios, refletindo no crescimento do desvio padrão e no coeficiente de variação. Por exemplo, o coeficiente de variação e o desvio padrão para a quantidade de areia usando todas as amostras são respectivamente 26,85% e 13,12%, enquanto que usando-se amostras de tamanho dois e três os valores são 17,22% e 8,38%, indicando que é preferível a adoção de sondagens com mais de uma amostra na adoção de valores médios para o solo estudado.

Com a adoção dos valores combinados de médias e desvios padrão,  $\bar{X}$  e  $S_c$ , obtiveram-se coeficientes de variação menores do que aqueles encontrados para todas as amostras, portanto, com melhor padrão de qualidade e intervalos de confiança mais estreitos, o que nos leva a sugerir a coleta e ensaio de pelo menos duas amostras por sondagem, assim como a utilização destes valores em estudos preliminares.

TABELA 11 - Intervalos de confiança, coeficiente de variação, média e desvio-padrão dos limites de Atterberg

	Limite de liquidez	Limite de plasticidade	Índice de plasticidade
n	58	58	58
$\bar{X}$	53,77%	27,24%	26,36%
S	14,13	7,41	9,70
Cv	26,27%	27,20%	36,79%
intervalo de confiança	$50,14 \leq \mu \leq 57,40$	$25,34 \leq \mu \leq 29,14$	$23,87 \leq \mu \leq 28,85$

TABELA 12 - Intervalo de confiança, coeficiente de variação, média e desvio-padrão dos parâmetros do ensaio de adensamento

	e - índice de vazios	$e_v$ - ind. vazios na pressão de pré-adensam.	$P_{\alpha}$ - pressão de pré-adensam.	$C_c$ - índice de compressão	$C_e$ - índice de expansão
n	38	38	37	38	38
$\bar{X}$	0,88	0,82	2,08	0,22	0,035
S	0,15	0,14	0,67	0,08	0,022
Cv	17,04%	17,07%	32,21%	36,36%	57,14%
intervalo de conf.	$0,83 \leq \mu \leq 0,93$	$0,78 \leq \mu \leq 0,86$	$1,87 \leq \mu \leq 2,29$	$0,20 \leq \mu \leq 0,24$	$0,026 \leq \mu \leq 0,044$

TABELA 13 - Intervalo de confiança, coeficiente de variação, média e desvio-padrão dos parâmetros obtidos no ensaio triaxial

	coesão - C	coesão efetiva - $C'$	ângulo de atrito - $\phi^o$	âng. atrito efetivo - $\phi'^o$	parâm. "A" de pressão neutra
n	32	32	32	32	105
$\bar{X}$	0,48	0,39	21,12	25,68	0,22
X	0,58	0,52	10,55	10,81	0,27
Cv	120,8%	133,3%	49,95%	42,09%	122,7%
intervalo de conf.	$0,28 \leq \mu \leq 0,68$	$0,21 \leq \mu \leq 0,57$	$17,47 \leq \mu \leq 24,77$	$21,93 \leq \mu \leq 29,43$	$0,17 \leq \mu \leq 0,27$

Da análise do intervalo de confiança, coeficiente de variação, desvio padrão e da média, de um modo geral, conclui-se que o solo residual da Formação Rosário do Sul, na área estudada, apresenta um comportamento bastante heterogêneo e a adoção de valores médios para os diferentes parâmetros geotécnicos deve ser feita com muito cuidado, exceto para alguns parâmetros como o peso específico, massa específica, índice de vazios e, até certo ponto, a granulometria.

### 5.3 - Correlações entre os Ensaios de Campo e Laboratório

#### 5.3.1 - Considerações a Respeito da Análise Estatística Adotada

Foi adotado, para o estabelecimento de correlações entre os ensaios de campo e laboratório, o princípio dos quadrados mínimos, procurando-se encontrar os parâmetros "a" e "b" de uma relação linear,  $Y = a + bX$ , entre variáveis passíveis de correlação.

Foram encontradas correlações entre a resistência de ponta ( $R_p$ ) e o índice de resistência à penetração (N-SPT); entre o índice de compressão ( $C_c$ ) e o índice de vazios ( $e$ ); entre o índice de expansão ( $C_e$ ) e o índice de plasticidade ( $I_p$ ); entre o índice de resistência a penetração (N-SPT) e o ângulo de atrito do ensaio triaxial e o índice de resistência a penetração (N-SPT) e o índice de capacidade de carga ( $C$ ).

No desenvolvimento desta análise, supõe-se inicialmente, que  $Y$  esteja linearmente relacionado com  $X$  e que os desvios ou resíduos dos valores observados de  $Y$ , com respeito aos valores estimados dados por  $Y = a + bX$ , estejam normalmente distribuídos com uma média igual a zero e que o desvio padrão, chamado desvio padrão de estimativa, seja constante com respeito aos valores de  $X$ .

A comprovação de que os resíduos estão normalmente distribuídos pode ser feita graficamente, usando-se o papel de probabilidade, ou analiticamente usando provas como a da Qui-quadrada, que compara as frequências observadas e as



estimadas em um histograma de resíduos, ou de Kolmogorov-Smirnov que compara as frequências acumuladas dos resíduos observados com a frequência acumulada de uma distribuição normal, NANNI (1980)<sup>32</sup> e ANG & TANG (1975)<sup>1</sup>.

Por outro lado, a comprovação de que a relação entre Y e X é significativa pode ser feita através da distribuição "Student-t". Para isto, obtém-se o quociente  $b/S_b$ , onde b é a inclinação da linha reta dada por  $Y = a + bX$  e  $S_b$  é o desvio padrão deste valor. Caso o quociente seja maior do que o valor tabular de "t" a um nível de probabilidade, por exemplo 0,95, então, pode-se afirmar que a relação é significativamente diferente de zero. Alternativamente, calcula-se o coeficiente de correlação "r" e faz-se uma comprovação de que o valor calculado de "r" seja significativamente diferente de zero. Através do quadrado de "r", " $r^2$ ", chamado de coeficiente de determinação, pode-se indicar a proporção de variação da variável dependente Y, que é devida a relação linear encontrada (NANNI, op. cit.).

Finalmente, usando-se a relação obtida pode-se prever um valor médio ou individual de Y para um dado valor de X. Estas previsões se fazem por intermédio de um intervalo de confiança a um nível dado de probabilidade bastante aceitável.

A seguir apresentam-se os resultados obtidos, tomando-se como exemplo básico a correlação obtida entre a resistência de ponta e o índice de resistência à penetração.

### 5.3.2 - Correlação entre o Índice de Resistência à Penetração (N) e a Resistência de Ponta ( $R_p$ )

Para o estabelecimento de uma relação linear entre N e  $R_p$ , do tipo  $R_p = a + bN$ , utilizou-se, inicialmente, cerca de 60 ensaios CPT e SPT (respectivamente, Cone Penetration Test e Standard Penetration Test) distribuídos em toda a área do Complexo Básico do IIIº Polo Petroquímico, sendo selecionados os valores obtidos no topo, no meio e na base do que se convencionou chamar de solo residual. Introduzidos estes valo-

res em um programa de regressão linear, verificou-se que eram correlacionáveis, embora com baixo coeficiente de correlação e amplos intervalos de confiança. Tais resultados foram atribuídos ao fato de existir grande variação lateral e vertical das características do solo residual e de que os locais ensaiados com CPT e SPT estavam distanciados significativamente.

Assim sendo, optou-se por adotar os resultados de ensaios SPT e CPT executados numa distância máxima de 2 metros e que, embora em menor número (6), conduziram a resultados mais expressivos.

Foram selecionados 60 valores nesses furos, recolhidos de metro em metro ao longo do solo residual, tabulados e introduzidos em um programa de regressão linear com análise de resíduos. A partir dos valores obtidos procedeu-se a análise estatística conforme o anteriormente exposto.

Através da análise gráfica com o auxílio do papel de probabilidade (figura 32), observou-se que os resíduos estavam aproximadamente distribuídos segundo uma linha reta com excessão dos valores extremos (3,191 e 3,465). Como a probabilidade de que a variável normal Z, fosse maior do que 3,191 era de 0,007 e que fosse maior do que 3,465 era menor do que 0,003, estes valores extremos foram eliminados e, sem estes valores efetuou-se um novo ajuste. O resultado dessa eliminação foi uma redução no coeficiente de "skewnes", uma melhor distribuição dos resíduos (figura 33) e uma redução de desvio padrão. Como a distribuição dos resíduos nos dois casos, deu-se aproximadamente como uma reta, ficou evidenciada a distribuição normal dos mesmos.

Com as provas da Qui-quadrada e de Kolmogorov-Smirnov, observou-se, também, que a distribuição era aproximadamente normal. Entretanto, o coeficiente de "skewnes" (1,06) mostrou que a distribuição tinha uma assimetria a direita. Ao eliminarmos os resíduos extremos, o coeficiente de "skewnes" reduziu-se para 0,09, indicando um pequeno índice de assimetria, quase igual a zero.

Fig. 32 — Distribuição dos resíduos (60 valores).

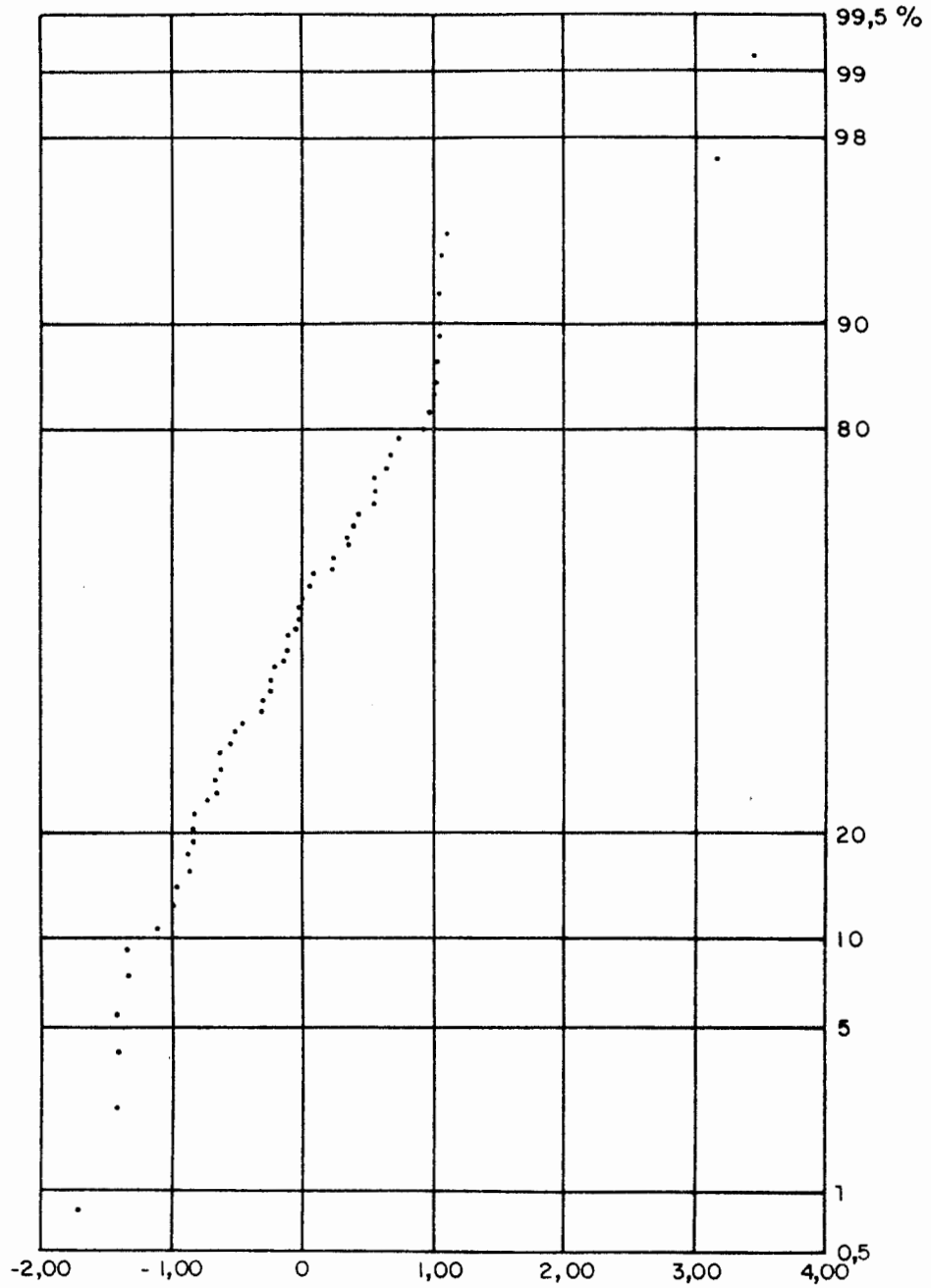
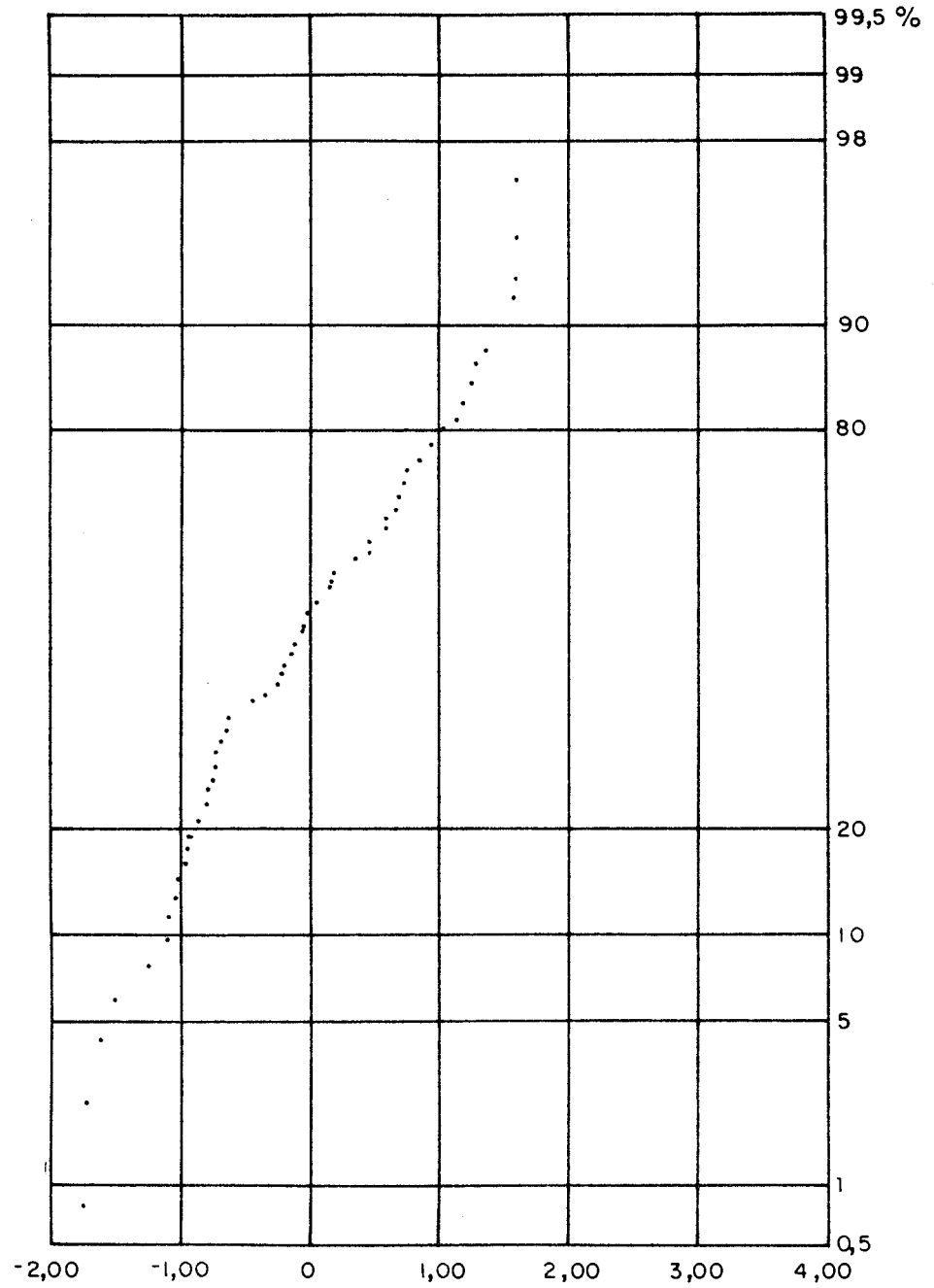


Fig. 33 – Distribuição dos resíduos sem os valores extremos (58 valores).



Feita a comprovação de que a distribuição era aproximadamente normal, procurou-se comprovar que a relação entre  $R_p$  e  $N$  era significativa. Tal comprovação pode ser feita através da distribuição "Student-t", conforme o explicado anteriormente.

Os dados introduzidos no programa de regressão linear apresentam os seguintes resultados:

número de dados : 60

valor de a : 9,987

valor de b : 2,748

desvio padrão da estimativa,  $S_e$  : 6,511 kg/cm<sup>2</sup>

desvio padrão de b :  $S_b = 0,1429$

Índice "t" para b :  $t = 2,748/0,1429 = 19,2$  (este valor de t é significativamente maior que o valor tabular de t, com nível de probabilidade igual a 0,95 e 58 graus de liberdade, o qual é igual a 2,00. A relação entre  $R_p$  e  $N$ , é, desta forma, altamente significativa).

coeficiente de correlação, r : 0,9297

intervalo de confiança de r a 95%:  $0,884 < r < 0,9576$  (o alto valor de r e seu estreito intervalo de confiança é outra indicação da significatividade da relação encontrada entre  $R_p$  e  $N$ ).

coeficiente de determinação,  $r^2$  : 86,4% (este valor indica que 86,4% da variação de  $R_p$  pode ser atribuída a relação determinada).

Considerando a eliminação dos pontos extremos, obteve-se:

número de dados : 58

valor de a : 10,888

valor de b : 2,582

desvio padrão da estimativa,  $S_e : 5,064 \text{ kg/cm}^2$

desvio padrão de  $b : S_b = 0,1189$

índice "t" para  $b : 21,7169$  (este valor de  $t$  é significativamente maior que o valor tabular de  $t$ , a 0,95, de probabilidade e 56 graus de liberdade, o qual é igual a 2,0033. A relação entre  $R_p$  e  $N$  é altamente significativa)

coeficiente de correlação  $r : 0,9454$

intervalo de confiança de "r" a 95% :  $0,9092 < r < 0,9675$   
(onde se conclui que a relação entre  $R_p$  e  $N$  é altamente significativa)

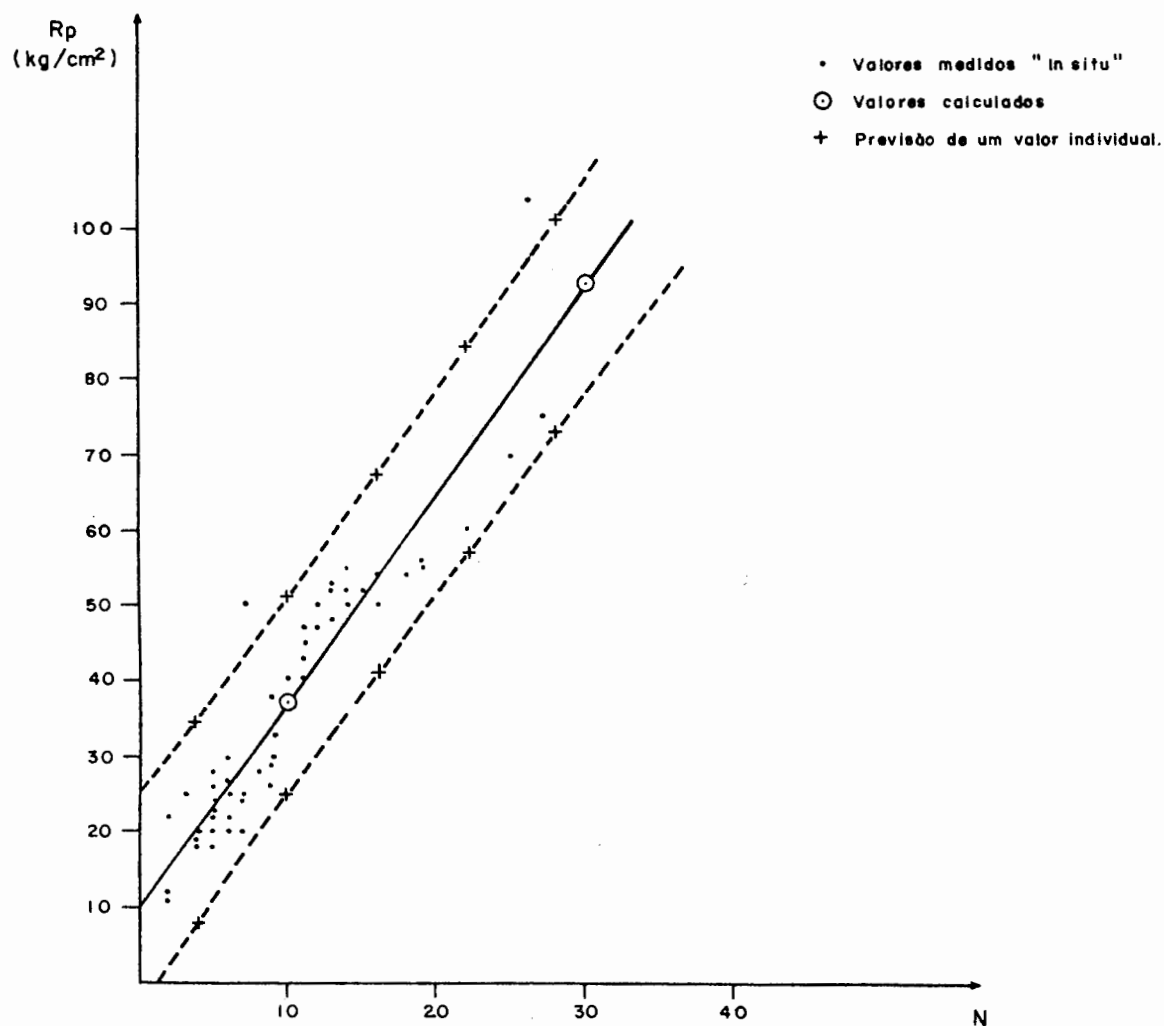
coeficiente de determinação  $r^2 : 89,4\%$  (ou seja, 89,4% da variação de  $R_p$  pode ser atribuída a relação determinada).

Na figura 34 estão representados a distribuição dos pontos ( $R_p \times N$ ) para 60 dados e a reta definida pela equação  $R_p = 9,987 + 2,748 N$  ( $\text{kg/cm}^2$ ), bem como os limites de confiança para os valores individuais de  $R_p$  em função dos valores de  $N$  e na figura 35 em relação aos 58 dados, eliminando os extremos, constam as mesmas informações para a reta definida pela equação  $R_p = 10,888 + 2,582 N$  ( $\text{kg/cm}^2$ ).

Desta análise pode-se comprovar a existência da correlação entre  $R_p$  e  $N$ , com elevados valores de correlação. Pode-se, através da relação obtida, predizer um valor médio ou individual de  $R_p$  para um dado valor de  $N$  para o local estudado por intermédio de um intervalo de confiança aceitável a um dado nível de probabilidade.

Uma aplicação prática desta correlação obtida pode ser feita no cálculo da taxa de trabalho ( $\sigma_T$ ). Muitos calculistas tem usado fórmulas empíricas conservacionistas, como simplesmente dividir o índice de resistência à penetração pelas constantes cinco ou seis. Construindo um gráfico com os valores obtidos de  $R_p$  a partir dos valores de  $N$  através das relações obtidas e relacionando-os com a taxa de trabalho (Congrés FRANKI, 1960) conforme figura 36, constata-se que, para um dado valor de  $N$ , a taxa de trabalho encontrada em função da equação obtida (no exemplo,  $R_p = 9,987 + 2,748 N$ ) é significativamente maior do que o valor obtido pela equação  $= N/5$ . Por

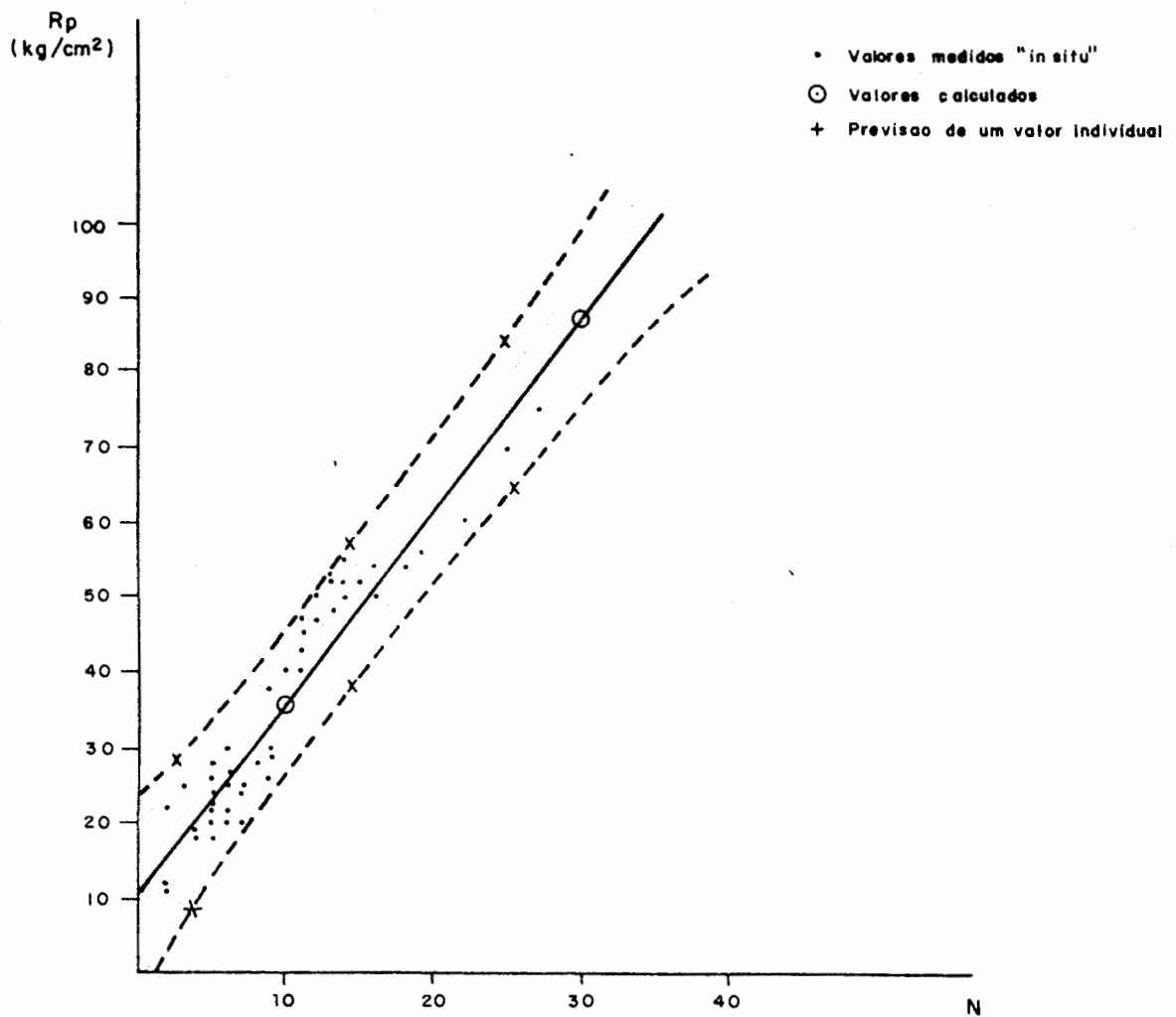
Fig. 34 – Relação entre a resistência de ponta ( $R_p$ -SPT) e índice de resistência á penetração ( $N$ -CPT) no solo residual da Formação Rosario do Sul.  $R_p = 9,997 + 2,748N$ . Limites de confiança para os valores individuais de  $R_p$  em função dos valores de  $N$  (linhas tracejadas).



$R_p$  = RESISTÊNCIA DE PONTA

$N$  = ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO.

Fig. 35 – Relação entre a resistência de ponta ( $R_p$ -CPT) e o índice de resistência à penetração ( $N$ ), para 58 valores.  $R_p = 10,888 + 2,582 N$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Limites de confiança para os valores individuais de  $R_p$  em função dos valores de  $N$ .

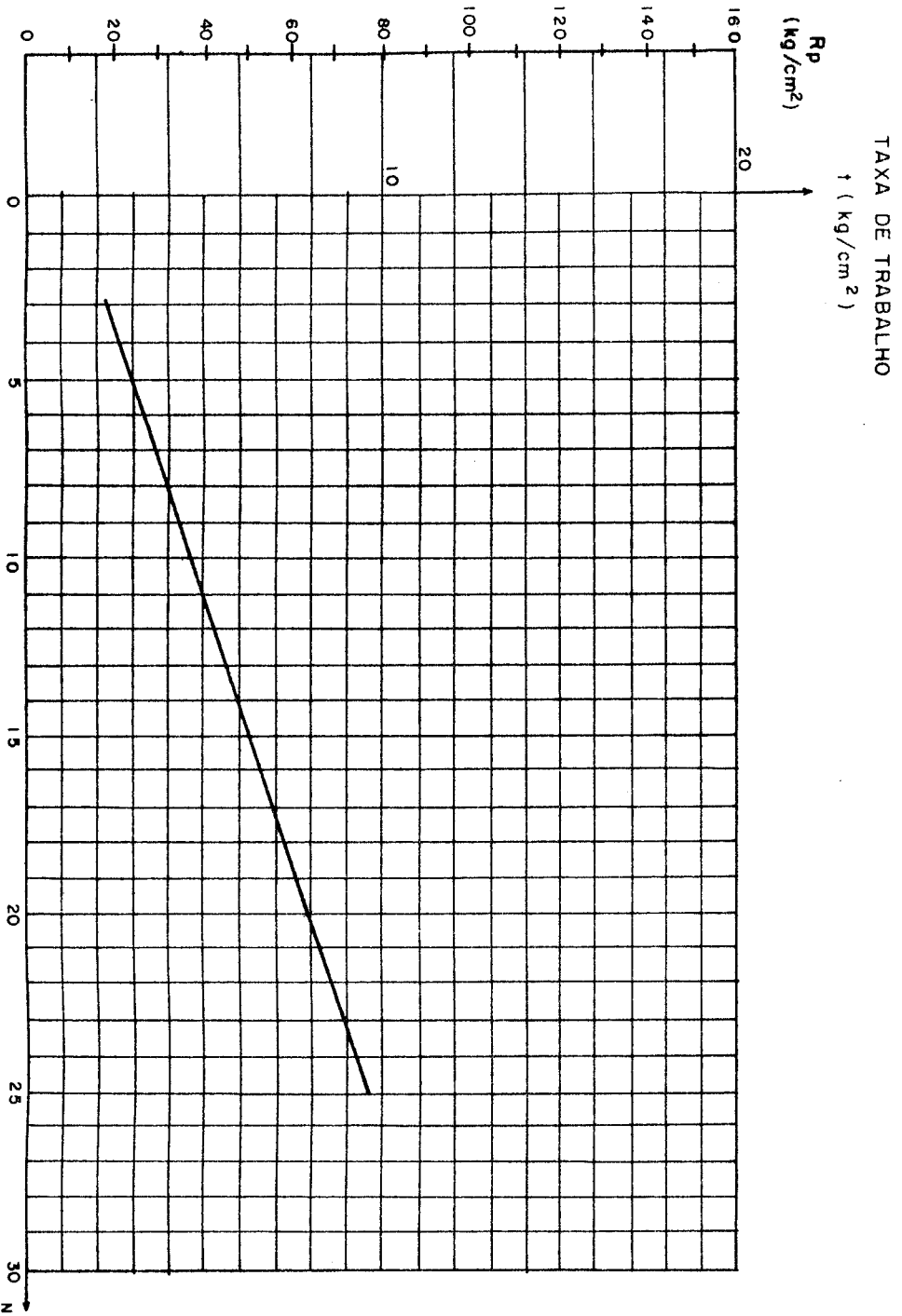


$R_p$  = RESISTÊNCIA DE PONTA

$N$  = ÍNDICE DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO



Fig. 36 — Relação entre a taxa de trabalho e reta de correlação entre N e Rp em solo residual da Formação Rosário do Sul.



Baseado no Congresso Frenki, Rio de Janeiro, 1960.

exemplo, para  $N = 10$ :

$\sigma_T = N/5 = 2 \text{ kg/cm}^2$ , enquanto que no gráfico o valor de  $\sigma_T$  encontrado seria de  $4,7 \text{ kg/cm}^2$ .

No anexo 01 estão expressos os dados obtidos no programa de regressão linear simples.

### 5.3.3 - Correlação entre o Índice de Compressão ( $C_c$ ) e o Índice de Vazios ( $e$ )

Procurou-se estabelecer uma correlação entre o índice de compressão  $C_c$  e o índice de vazios  $e$  através de uma relação do tipo  $C_c = a + be$ , introduzindo os resultados de ensaios de adensamento, referentes a 30 amostras, no programa de regressão linear simples, anteriormente referido. As amostras foram coletadas de 18 sondagens a percussão com circulação de água e ensaiadas em laboratório de solos da TECNOSOLO S.A.

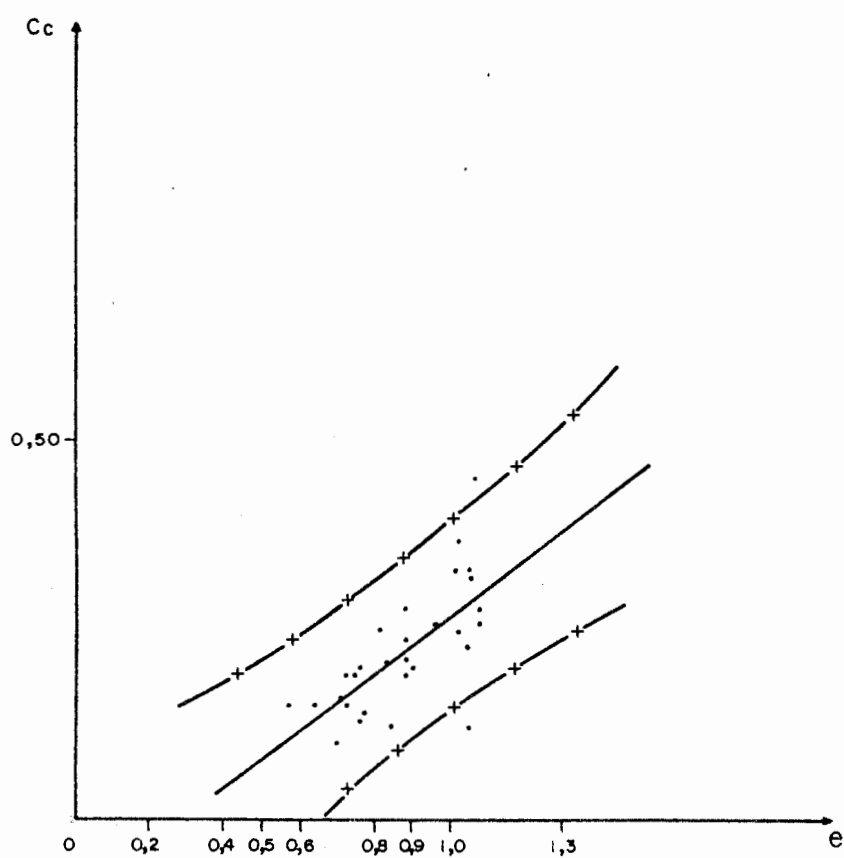
Seguindo o procedimento indicado anteriormente, inicialmente constatou-se a distribuição aproximadamente normal dos valores, através da análise gráfica dos resíduos e das provas da Qui-quadrada e de Kolmogorov-Smirnov. Ficou evidenciado, também, que a relação entre  $C_c$  e  $e$  é significativa. O índice de  $t$  para  $b$  (5,04) é maior do que o valor tabular de  $t$ , a um nível de probabilidade de 0,95 e 28 graus de liberdade, o qual é igual a 2,0483, demonstrando que a relação é significativa. Por outro lado, o coeficiente de correlação  $r=0,6898$  não é muito expressivo, como no caso anterior, e o seu intervalo de confiança é bastante amplo, denotando que esta correlação é significativa, porém a um nível inferior ao do exemplo anterior. O coeficiente de determinação  $r^2$  nos indica que apenas 47,5% da variação de  $C_c$  pode ser atribuída a relação determinada.

Com os valores encontrados, expressos no anexo 02,, pode se estabelecer a seguinte relação entre  $C_c$  e  $e$ :

$$C_c = - 0,109 + 0,379 e$$

Observando-se a figura 37, onde estão representadas a distribuição dos valores de  $C_c$  em relação a  $e$  e os limites

Fig37 - Relação entre o índice de compressão (Cc) e o índice de vazios (e).  $C_c = -0,109 + 0,379e$ . Limite de confiança para os valores individuais de Cc em função dos valores de e.



de confiança para os valores individuais de  $C_c$  em função dos valores de  $e$ , nota-se que os valores estão distribuídos entre os intervalos de 0,50 e 1,10 correspondentes ao índice de vazios, e a medida que se afasta destes extremos os limites de confiança para os valores individuais de  $C_c$  ampliam-se acentuadamente. Como não existe valores de índice de vazios inferiores a 0,5 ou superiores a 1,1, não se pode prever que a partir destes extremos a relação mantenha-se linear, podendo a mesma sofrer inflexões. Deste modo, é conveniente trabalhar apenas com valores compreendidos neste intervalo de índice de vazios.

#### 5.3.4 - Correlação entre o Índice de Expansão ( $C_e$ ) e o Índice de Plasticidade ( $I_p$ )

A exemplo das outras correlações estabelecidas, procurou-se uma correlação entre o índice de plasticidade  $I_p$  e o índice de expansão  $C_e$ , obtidos através dos ensaios de caracterização e adensamento, respectivamente. Foram analisadas 31 amostras coletadas de 18 sondagens a percussão com circulação d'água.

Constatou-se através da análise gráfica dos resíduos e das provas da Qui-quadrada e de Kolmogorov-Smirnov que a distribuição é aproximadamente normal.

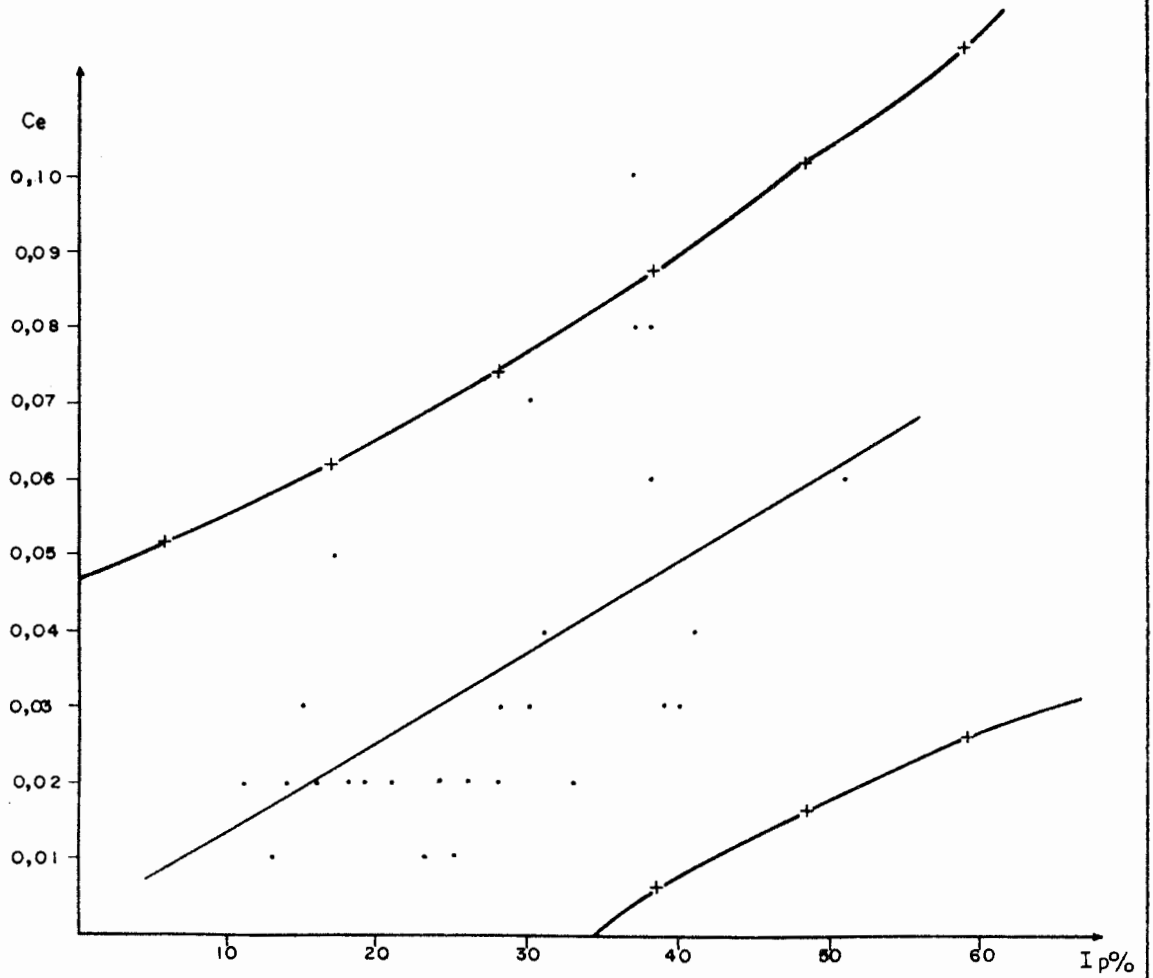
O índice  $t$  para  $b(3,5225)$  é maior que o valor tabular de  $t$ , a um nível de probabilidade de 0,95 e 29 graus de liberdade, o qual é igual a 2,0452, demonstrando que a relação é significativa. Entretanto, o coeficiente de correlação  $r=0,5474$  e seu amplo intervalo de confiança, indicam que, apesar de ser significativa, a relação não é boa e o coeficiente de determinação  $r^2$  nos diz que apenas 29,9% da variação de  $C_e$  pode ser atribuída a relação determinada.

No anexo 03 estão expressos os resultados obtidos no programa de regressão linear simples com os quais foi estabelecida a seguinte relação:

$$C_e = 0,0017 + 0,0012 I_p$$

Através da observação da figura 38, constata-se que

Fig.38 - Relação entre o índice de expansão (Ce) e índice de plasticidade (Ip).  $Ce = 0,0017 + 0,0012Ip$ . Limites de confiança para os valores individuais de Ce em função dos valores de Ip.



realmente a relação não é muito significativa, notando-se uma distribuição de pontos bastante irregular e um amplo intervalo dos limites de confiança para os valores individuais de  $C_e$  em função dos valores de  $I_p$ .

### 5.3.5 - Correlação entre o Índice de Resistência à Penetração (N) e o Ângulo de Atrito Determinado no Ensaio Triaxial ( $\phi_T$ )

Procurou-se estabelecer uma relação entre o ângulo de atrito determinado no ensaio triaxial e o índice de resistência à penetração N determinado no ensaio SPT. Foram introduzidos 14 dados em um programa de regressão linear simples e analisados da mesma forma que os exemplos anteriores.

Através da análise gráfica dos resíduos e das provas da Qui-quadrada e de Kolmogorov-Smirnov, constatou-se que a distribuição dos valores de N e  $\phi_T$  é aproximadamente normal.

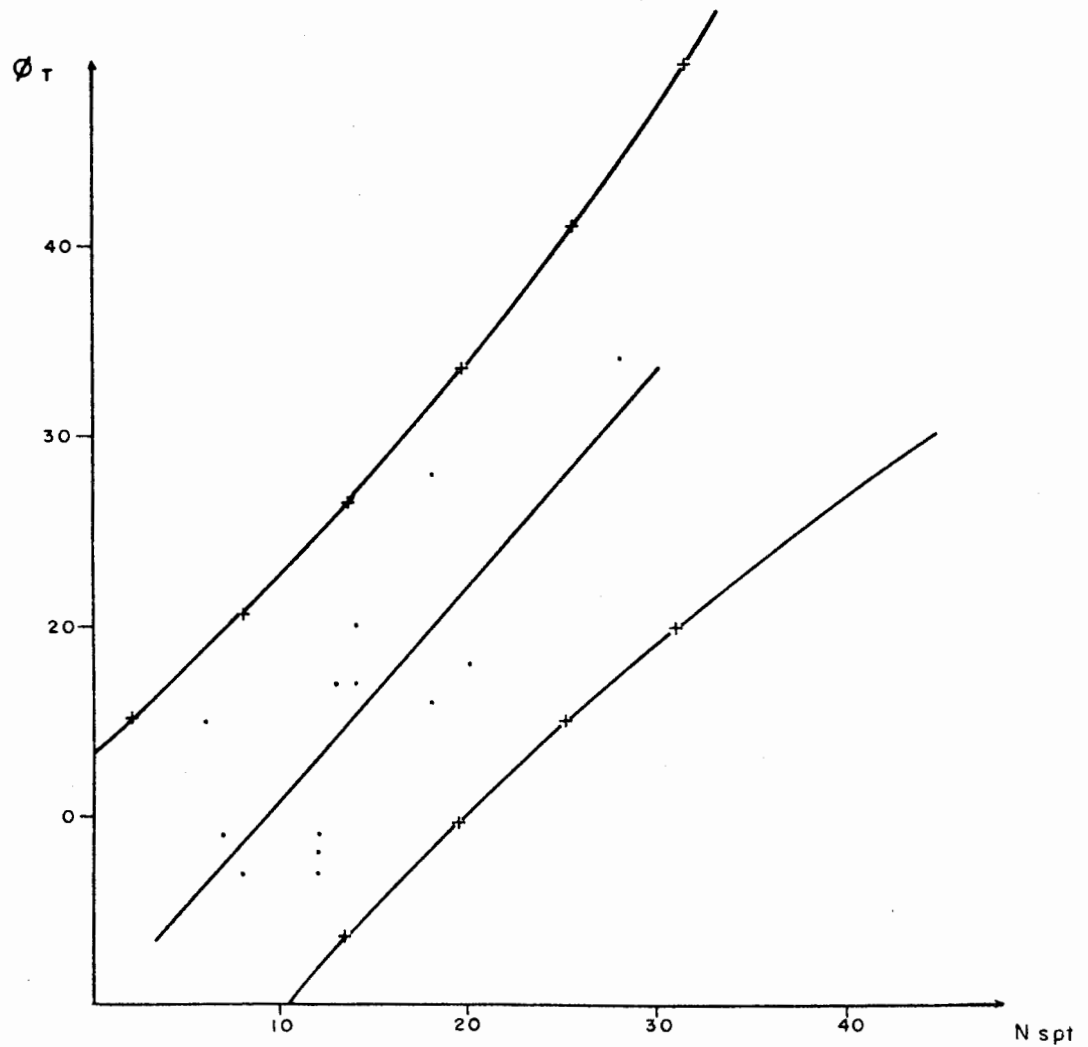
O índice t para  $b(4,5867)$  é maior do que o valor tabular de t, a um nível de probabilidade de 0,95 e 12 graus de liberdade, o qual é igual a 2,1773, denotando que a relação é significativa. O coeficiente de correlação  $r=0,798$  também demonstra que a relação é significativa, porém, com um intervalo de confiança relativamente amplo. O coeficiente de determinação  $r^2$  indica que 63,7% da variação de  $\phi_T$  pode ser atribuída à relação determinada.

No anexo 04 estão expressos os resultados obtidos no programa de regressão linear simples e que possibilitaram a determinação da seguinte relação:

$$\phi_T = - 0,3578 + 1,1296 N$$

Observa-se na figura 39 que existe uma distribuição regular dos valores de  $\phi_T$  e N e que estes apresentam uma certa relação linear. Os limites de confiança para os valores individuais de  $\phi_T$  em função dos valores de N tendem a ampliar nos extremos. Como esta relação foi determinada num intervalo de N compreendido entre 7 e 30, torna-se difícil estimar-se que fora destes limites a relação continue linear. Considerando

Fig.39 — Relação entre o ângulo de atrito determinado no ensaio triaxial ( $\phi_T$ ) e o índice de resistência à penetração N.  $\phi_T = -0,3578 + 1,1296N$ . Limites de confiança para os valores individuais de  $\phi_T$  em função dos valores de N.



a equação acima definida, quando o valor de N for igual a zero ou próximo dele (situação inexistente neste solo residual) o valor de  $\varnothing_T$  seria negativo, não tendo um significado real. Portanto, torna-se aconselhável a utilização da equação apenas para valores de N compreendidos neste intervalo.

### 5.3.6 - Correlação entre o Índice de Resistência à Penetração (N) e o Índice de Capacidade de Carga (C)

Procurou-se estabelecer uma correlação entre o índice de resistência à penetração N e o índice de capacidade de carga C, determinado pela equação  $1+e_0/C_c$ , onde  $e_0$  é o índice de vazios inicial e  $C_c$  o índice de compressão, através de uma relação do tipo  $C = a + bN$ , introduzindo 32 dados em programas de regressão linear simples, referentes aos ensaios executados, respectivamente, SPT e adensamento com o respectivo cálculo de C.

Através da análise gráfica dos resíduos e das provas da Qui-quadrada e de Kolmogorov-Smirnov, constatou-se que a distribuição é aproximadamente normal.

O índice t para b (4,2137) é maior que o valor tabular de t, a um nível de probabilidade de 0,95 e 30 graus de liberdade o qual é igual a 2,042, demonstrando que a relação é significativa. O coeficiente de correlação  $r=0,6098$  não é muito expressivo mas indica também que a relação é significativa, embora o seu intervalo de confiança, entre 0,3315 e 0,7904, seja bastante amplo. O coeficiente de determinação  $r^2$  nos diz que apenas 37,1% da variação de C pode ser atribuída a relação determinada.

No anexo 05 estão expressos os resultados obtidos programa de regressão linear simples com os quais foi estabelecida a seguinte relação:

$$C = 5,6098 + 0,2504 N$$

Também estão relacionados, na mesma figura, a previsão dos valores estimados pela equação, os resíduos e os erros da previsão para os valores médios e valores individuais.



Na figura 40, estão representados os valores de C em função de N e a reta definida pela equação determinada.

### 5.3.7 - Correlação entre o Índice de Resistência à Penetração (N), a Tensão Vertical ( $\sigma_v$ ), a Coesão Efetiva (C') e o Ângulo de Atrito Efetivo ( $\phi'$ )

Através de um programa de regressão linear múltipla, procurou-se estabelecer uma correlação entre o índice de resistência à penetração N, a tensão vertical  $\sigma_v$ , a coesão efetiva e o ângulo de atrito efetivo  $\phi'$  por meio de uma equação do tipo  $\phi' = a + bN + c \sigma_v + dC'$ . Foram analisados 32 dados obtidos por ensaios de penetração dinâmica, sondagens à percussão com circulação d'água e ensaios triaxiais.

A análise gráfica dos resíduos indica que a distribuição dos valores é aproximadamente normal.

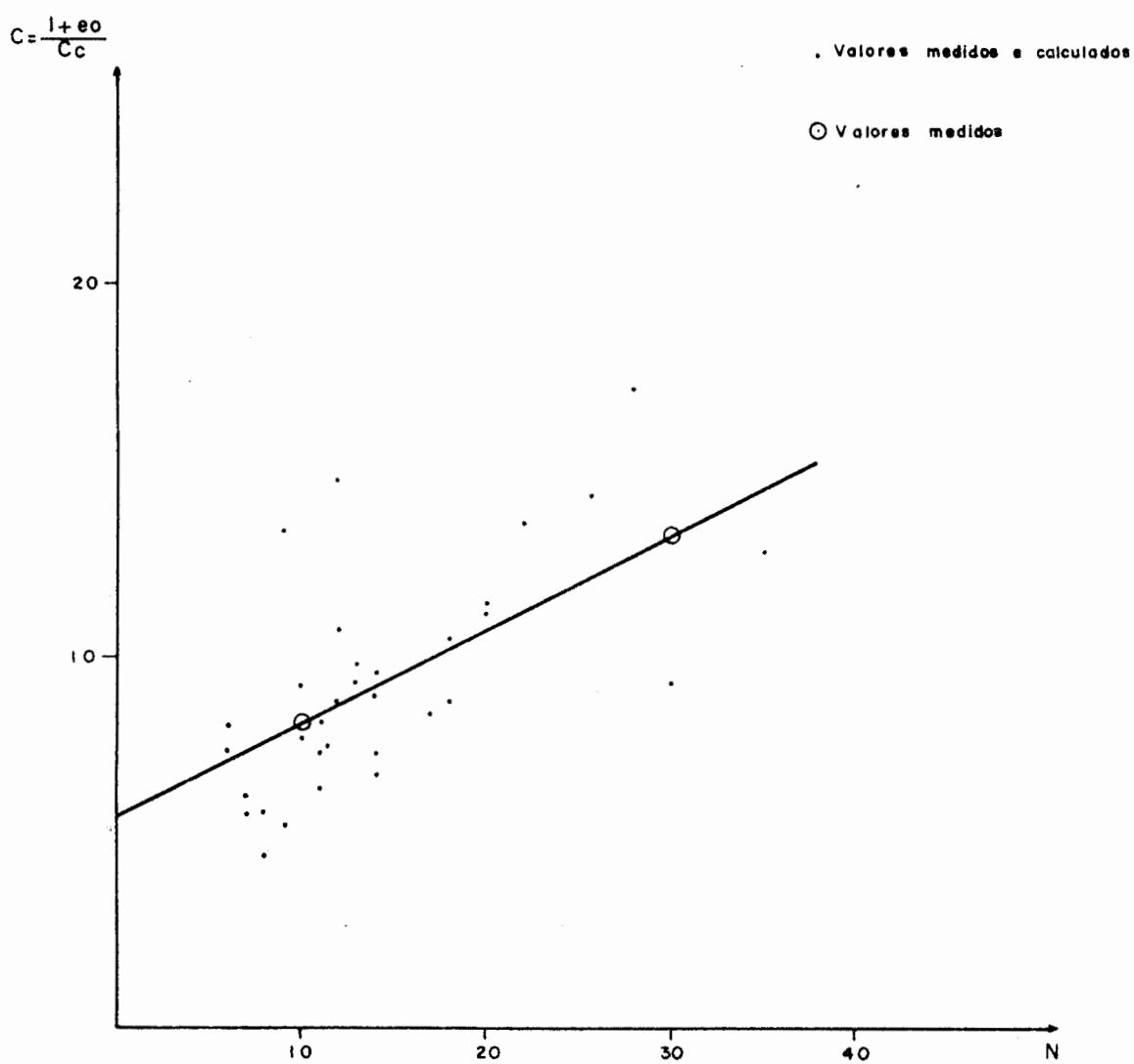
O valor de F (razão das médias quadradas da regressão e dos resíduos) obtido no programa de regressão linear múltipla (5,45), é maior do que o valor tabular da distribuição de F (3,10) o qual é igual a 3,71, demonstrando que a relação é significativa (segundo NANNI, ob.cit.).

O índice t para b (2,94) é maior que o valor tabular de t, a um nível de probabilidade de 0,95 e 10 graus de liberdade, o qual é igual a 2,23, denotando que é significativa a relação entre  $\phi'$  e N. Por outro lado, os índices t para c e d (-1,09 e -1,85, respectivamente) são menores do que o valor tabular de t, já mencionado, indicando que o coeficiente c de  $\sigma_v$  não é significativo e nota-se que o índice t para d (-1,85) é maior do que o valor tabular de t, a um nível de probabilidade de 0,90 e 10 graus de liberdade o qual é igual a 1,81, demonstrando que a este nível de probabilidade a relação entre  $\phi'$  e c' é significativa.

O coeficiente de determinação múltipla,  $r^2$ , nos indica que 62% da variação de  $\phi'$ , pode ser atribuída a relação determinada.

No anexo 06, estão representados os resultados obtidos no programa de regressão linear múltipla com os quais foi estabelecida a seguinte relação:

Fig. 40 – Relação entre o índice de capacidade de carga e o índice de resistência à penetração N.  
 $C = 5,6098 + 0,2504N$ .



$$\phi' = 13,92 + 1,062 N - 0,338 \sigma_v - 5,94 c'$$

A partir desta relação observa-se que a medida que crescem a tensão vertical e a coesão efetiva diminui o valor do ângulo de atrito efetivo, para o solo estudado.

### 5.3.8 - Análise dos Resultados Obtidos nos Ensaio Pressiométricos

Para os ensaios pressiométricos foi dispensado um tratamento estatístico diferente daquele que vinha sendo utilizado para os ensaios de campo e laboratório, tendo em vista que os mesmos denotaram um comportamento particular onde evidenciou-se que não existe correlação linear entre o índice de resistência à penetração e o módulo pressiométrico ou a pressão limite de ruptura.

Nesta análise foram comparados os valores do módulo pressiométrico,  $E$ , da pressão limite de ruptura  $P_l$  e do índice de resistência à penetração  $N$ , levando-se em conta as médias, os desvios padrão e os intervalos de confiança encontrados.

Os ensaios pressiométricos e os ensaios de penetração dinâmica foram separados por uma distância de um metro, sendo comparados os valores correspondentes em cada ensaio. Utilizou-se um total de 57 ensaios.

Constatou-se, inicialmente, que a razão entre  $N$  e a  $P_l$ , variou de 0,7 a 3,3, com uma média em torno de 1,22 e desvio padrão de 0,51, sendo que o intervalo de confiança da média está compreendido entre 1,09 e 1,35. Pode-se considerar que o intervalo de confiança é bastante reduzido, de modo que a média determinada pode ser considerada como significativa. Desta forma, pode-se dizer que a pressão limite de ruptura deve ser obtida através do índice de resistência à penetração por meio da relação abaixo, a um nível de 95% de probabilidade:

$$P_l = \frac{N}{1,09 \text{ a } 1,35} \quad \text{ou aproximadamente,} \quad P_l = \frac{N}{1,22}$$

A razão entre o módulo pressiométrico e o índice de resistência à penetração,  $E/N$ , variou de 1,3 a 34,3 com média em torno de 12,6 e desvio padrão de 7,5, sendo que o intervalo de confiança está compreendido entre 10,7 e 14,5. Neste caso, o intervalo de confiança é mais amplo; no entanto, ainda a média determinada parece ser significativa e o valor de  $E$  poderia ser obtido, a um nível de 95% de probabilidade, pela seguinte equação:

$$E = 10,7 \quad \text{a} \quad 14,5 \quad N \quad \text{ou aproximadamente,} \quad E = 12,6 \quad N$$

A razão entre  $E$  e  $P\ell$  variou entre 6,9 e 35,4 com média em torno de 14,8 e desvio padrão de 7,39, sendo que o intervalo de confiança está compreendido entre 13,0 e 16,6. Também neste caso, a média é significativa e observa-se que para os valores da razão  $E/P\ell$  compreendidos entre 12 e 30 os solos são considerados como pré-adensados, LIMA (op.cit.), o que corresponde ao nosso caso.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Quando pretende-se estudar geotecnicamente uma região, e em especial uma unidade geotécnica, depara-se com um problema relacionado a falta de dados geotécnicos ou de que estes estão restritos a uma determinada região. No presente caso, temos uma grande quantidade de informações restritas a uma pequena área de ocorrência das rochas sedimentares da Formação Rosário do Sul limitando, desta forma, a abrangência e generalização do estudo para todo solo residual da Formação Rosário do Sul.

Em relação ao solo residual estudado foram obtidas as seguintes conclusões:

1 - O solo é representado granulometricamente por material fino, predominando argila + silte e areias finas. A distribuição do material no solo não é uniforme, variando na vertical e na horizontal. Localmente as areias finas dominam sobre a fração argila + silte. O material ora apresenta-se com alta plasticidade ora com baixa plasticidade. O solo é constituído especialmente por grãos de quartzo, poucos feldspatos e minerais pesados e argilo minerais como a caolinita (dominante), montmorilonita, ilita e ilita-montmorilonita.

2 - A distribuição do índice de resistência à penetração no solo é irregular, sofrendo oscilações verticais e laterais. De um modo geral, tende a aumentar com a profundidade; no entanto, nas camadas próximas à superfície, sofre aumento brusco voltando a decair a seguir. Este súbito aumento é atribuído a uma cimentação calcítica ou ferruginosa nos níveis superficiais, via de regra situados acima do nível freático. Constituem camadas de consistência média a mole, com níveis de elevada resistência.

3 - O solo residual pode ser utilizado como material de aterro, principalmente as camadas superficiais onde o CBR

médio alcança valores em torno de 40 e a expansibilidade apresenta valores médios de 1%; no entanto, as camadas mais profundas, onde dominam argilo-minerais do grupo das esmectitas, e os valores de CBR alcançam o índice 2 e a expansibilidade atinge valores superiores a 10%, não devem ser utilizadas como material de aterro de estradas.

4 - Pelas características do solo, deve-se utilizar estacas como fundação, notadamente em obras que distribuem grandes cargas ao solo. Convém salientar que os locais que apresentam montmorilonita requerem cuidados e estudos especiais, tais como levar em consideração a pressão de expansão da argila.

5 - Através da análise estatística estabelecida, constata-se que a adoção de valores médios, para as características geotécnicas do solo residual estudado, deve ser feita com muito cuidado, recomendando-se, quando da execução de sondagens, a coleta de pelo menos duas amostras por sondagens para ensaios de laboratório.

6 - Quantidade média de silte + argila, 51,34%, revela a predominância deste material sobre a areia fina, 48,66%; no entanto em alguns locais a fração arenosa sobrepuja a fração mais fina. Os intervalos de confiança dos valores médios, respectivamente, 49,11% - 53,57% e 46,43% - 50,89%, são estreitos indicando que as médias são significativas.

7 - O peso específico médio,  $2,64 \text{ g/cm}^3$ , juntamente com a massa específica aparente da amostra úmida e a massa específica aparente da amostra seca, 1,83 e  $1,41 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente, são os parâmetros geotécnicos médios mais significativos e de maior confiabilidade, tendo em vista os estreitos intervalos de confiança e os baixos valores dos coeficientes de variação determinados.

8 - Os valores médios dos limites de liquidez (53,12%), plasticidade (25,40%) e índice de plasticidade (25,80%) colocam este solo como sendo de alta plasticidade; no entanto, em muitos locais apresentam-se com baixa plasticidade. Portanto, como demonstram os altos valores dos coeficientes de variação e

os amplos intervalos de confiança, não são valores muito confiáveis e significativos.

9 - O índice de vazios médios foi de 0,86 com intervalo de confiança variando de 0,83 até 0,89, podendo ser considerado significativo e relativamente confiável, pois seu coeficiente de variação, 0,12, é considerado dentro de um padrão de qualidade rigoroso.

10 - Os valores médios do índice de compressão (0,21), do índice de expansão (0,028), da coesão (0,49), coesão efetiva (0,41) e ângulo de atrito (20,8) não são significativos apresentando uma grande variabilidade em torno destes valores.

As tentativas de correlações entre os ensaios de campo e laboratório, através dos programas de regressão linear simples e múltipla, conduziram a alguns bons resultados.

11 - A correlação mais significativa alcançada foi entre a resistência de ponta,  $R_p$  - CPT, e o índice de resistência à penetração,  $N$  - SPT. Das duas relações obtidas, preferiu-se adotar aquela que incluía os 58 valores considerados (excluindo os valores extremos), ou seja:

$$R_p = 10,888 + 2,582 N \text{ kg/cm}^2$$

12 - O índice de compressão e o índice de vazios podem ser correlacionados através da relação  $C_c = -0,109 + 0,379 e$ ; porém, apenas 47,5% da variação de  $C_c$  pode ser atribuída a relação determinada e deve ser usada apenas para valores de  $e$  compreendidos entre 0,50 e 1,10.

13 - A relação entre o índice de expansão e o índice de plasticidade -  $C_e = 0,0017 + 0,0012 I_p$  - não é boa e apenas 29,9% da variação de  $C_e$  pode ser atribuída a relação determinada.

14 - A relação entre o índice de resistência à penetração e o ângulo de atrito determinado no ensaio triaxial pode ser considerada significativa e é expressa pela seguinte equação:  $\phi_T = -0,3578 + 1,1296 N$ , sendo que 63,7% da variação de  $\phi_T$  pode ser atribuída a relação determinada. Porém, esta

relação deve ser considerada apenas para valores de N compreendidos entre 7 a 30.

15 - A correlação entre o índice de resistência à penetração e o índice de capacidade de carga é apenas razoável, sendo expressa pela equação  $C = 5,6098 + 0,2504 N$ , onde apenas 37,1% da variação de C pode ser atribuída a relação determinada.

16 - A correlação múltipla entre o índice de resistência à penetração, a tensão vertical, a coesão efetiva e o ângulo de atrito efetivo é expressa pela relação  $\phi' = 13,92 + 1,062 N - 0,338 \sigma_v - 5,94 c'$ . Embora não seja muito expressiva, 62% da variação de  $\phi'$  pode ser atribuída a relação determinada. Pode-se concluir, também, que a medida que a tensão vertical e a coesão efetiva crescem, diminui o valor do ângulo de atrito efetivo.

17 - Pode-se determinar a pressão limite de ruptura e o módulo pressiométrico em função do índice de resistência à penetração, a um nível de 95% de probabilidade, a partir das seguintes equações:

$$a) \quad P_l = \frac{N}{1,09 \text{ a } 1,35} \quad \text{ou} \quad P_l = \frac{N}{1,22} \quad b) \quad E = 10,7 \text{ a } 14,5 \text{ N} \quad \text{ou} \quad E = 12,6 \text{ N}$$

18 - A razão média entre o módulo pressiométrico e a pressão limite de ruptura foi de 14,8, podendo-se enquadrar o solo residual como pré-adensado.

Algumas sugestões para eventuais trabalhos que venham a ser desenvolvidos em áreas semelhantes, compreendem:

1 - Estudos geotécnicos em regiões que possuam ocorrências de solo residual da Formação Rosário do Sul para compará-los com os agora executados e procurando a possibilidade da extensão dos seus resultados para toda a Formação Rosário do Sul.

2 - Alguns estudos complementares como análises químicas do solo, estudo detalhado da distribuição dos argilo-minerais no solo residual, maior quantidade de ensaios de compac



tação, ensaios de cisalhamento e provas de carga no solo poderiam ser desenvolvidos e orientados para uma melhor caracterização deste solo.

3 - Tendo em vista a grande dificuldade de se distinguir os horizontes que constituem o solo residual proveniente da decomposição de rochas sedimentares (no caso arenitos, sil-  
titos e algumas vezes argilitos intercalados), sugere-se que seja feito um estudo neste sentido, estabelecendo-se critérios para separação da rocha propriamente dita do solo residual e no solo residual, critérios para a individualização dos diversos horizontes, da mesma forma que é executado para rochas ígneas e metamórficas. Como sugestão de critérios indica-se a distribuição de argilo-minerais, características texturais e composição.

4 - Sugere-se que a análise estatística, aqui adotada, seja desenvolvida para um solo de características mais homogêneas a fim de um melhor aproveitamento dos parâmetros médios obtidos.

5 - Por fim, sugere-se que seja estudada com detalhe a variação das características geotécnicas com a profundidade.

## A N E X O S

A	=	9.9866
B	=	2.7680
DESVIO PADRAO DA ESTIMATIVA	=	0.5110
DESVIO PADRAO DA INCLINACAO	=	0.1429
INDICE T PARA B	=	19.2285
COEFICIENTE DE CORRELACAO	=	0.9297
LIMITE INF. CONFIANCA - 95%	=	0.8847
LIMITE SUP. CONFIANCA - 95%	=	0.9576

X(I)	Y(I)	RESIDUO/SIG
.500000E+01	.280000E+02	-.656283E+00
.600000E+01	.200000E+02	-.994465E+00
.600000E+01	.250000E+02	-.226534E+00
.700000E+01	.200000E+02	-.141652E+01
.500000E+01	.160000E+02	-.879579E+00
.700000E+01	.240000E+02	-.802179E+00
.200000E+01	.120000E+02	-.534920E+00
.120000E+02	.500000E+02	.108076E+01
.260000E+02	.104000E+03	.346560E+01
.270000E+02	.750000E+02	-.141045E+01
.250000E+02	.700000E+02	-.133427E+01
.160000E+02	.540000E+02	.687916E+02
.110000E+02	.470000E+02	.104207E+01
.140000E+02	.540000E+02	-.837236E+00
.140000E+02	.500000E+02	.236651E+00
.300000E+01	.250000E+02	.103464E+01
.200000E+01	.220000E+02	.100094E+01
.600000E+01	.300000E+02	.541397E+00
.500000E+01	.230000E+02	-.111647E+01
.700000E+01	.500000E+02	.319106E+01
.900000E+01	.260000E+02	-.133912E+01
.700000E+01	.250000E+02	-.648592E+00
.400000E+01	.280000E+02	-.609873E+00
.500000E+01	.260000E+02	.349111E+00
.600000E+01	.270000E+02	.806384E+01
.900000E+01	.380000E+02	.925967E+00
.400000E+01	.310000E+02	-.149134E+00
.120000E+02	.470000E+02	.620010E+00
.110000E+02	.400000E+02	-.330342E+01
.140000E+02	.500000E+02	.236651E+00
.140000E+02	.540000E+02	-.837236E+00
.200000E+01	.110000E+02	-.688506E+00
.400000E+01	.160000E+02	-.457520E+00
.140000E+02	.550000E+02	.100456E+01
.130000E+02	.520000E+02	.966802E+00
.700000E+01	.200000E+02	-.141652E+01
.220000E+02	.500000E+02	-.160375E+01
.500000E+01	.220000E+02	-.265234E+00
.200000E+01	.260000E+02	-.729470E+01
.500000E+01	.240000E+02	.419385E+01
.500000E+01	.200000E+02	-.572468E+00
.400000E+01	.300000E+02	-.724779E+00
.100000E+02	.410000E+02	.542610E+00
.400000E+01	.290000E+02	-.876365E+00
.110000E+02	.400000E+02	-.330342E+01
.900000E+01	.220000E+02	-.687292E+00
.900000E+01	.330000E+02	-.264826E+00
.140000E+02	.520000E+02	.543824E+00
.130000E+02	.530000E+02	.111946E+01
.140000E+02	.550000E+02	.104456E+01
.130000E+02	.460000E+02	.351538E+00
.100000E+02	.400000E+02	.369024E+00
.190000E+02	.560000E+02	-.952124E+00
.160000E+02	.520000E+02	-.300294E+00
.190000E+02	.550000E+02	-.110571E+01
.130000E+02	.450000E+02	.734897E+00
.110000E+02	.470000E+02	.104207E+01
.130000E+02	.430000E+02	.427724E+00
.400000E+01	.190000E+02	-.303930E+00
.400000E+01	.200000E+02	-.150347E+00

Anexo 01 - Dados do programa de regressão linear simples para os ensaios SPT x CPT

PREVISAO  
=====

INTERVALO DE CONFIANCA 95%

	VALOR MEDIO	VALOR INDIVIDUAL
X+3s	.015538E+02	.922755E+02
X+2s	.008272E+02	.744029E+02
X+1s	.519269E+02	.567054E+02
X 0s	.363470E+02	.436692E+02
X-1s	.193270E+02	.241070E+02
X-2s	.103043E+01	.920607E+01
X-3s	-.162222E+01	-.551968E+01

Anexo 01 - Dados do programa de regressão linear simples (continuação)

INTERSECCAO COM O EIXO Y (A) =	10.8844
INCLINACAO (B) =	2.5829
DESVIO PADRAO DA ESTIMATIVA =	5.0641
DESVIO PADRAO DA INCLINACAO =	0.1169
DESVIO PADRAO DA INTERSECCAO =	0.2637
INDICE t PARA B =	21.7169
VALOR DE T PARA ALPHA = 0.025 =	2.0033
COEFICIENTE DE CORRELACAO =	0.9454
LIMITE INF. CONFIANCA - 95% =	0.9092
LIMITE SUP. CONFIANCA - 95% =	0.9675

X(I)	Y(I)	RESIDUO/STJ
5.0000000	28.0000000	0.6288452
6.0000000	20.0000000	-1.4209467
6.0000000	25.0000000	-0.2735368
7.0000000	20.0000000	-1.7709320
7.0000000	18.0000000	-1.4455355
7.0000000	24.0000000	-0.2811037
7.0000000	12.0000000	-0.2005118
12.0000000	50.0000000	0.0029283
12.0000000	75.0000000	-1.1106528
5.0000000	70.0000000	-1.0781359
16.0000000	54.0000000	0.3526651
11.0000000	47.0000000	1.3205349
18.0000000	54.0000000	-0.9674356
14.0000000	50.0000000	0.526576
3.0000000	25.0000000	1.6565373
2.0000000	22.0000000	1.1741339
6.0000000	30.0000000	-0.7137490
5.0000000	23.0000000	-0.1585326
9.0000000	26.0000000	-1.0062353
7.0000000	25.0000000	-0.7838342
8.0000000	28.0000000	-0.7012608
3.0000000	26.0000000	0.339361
6.0000000	27.0000000	0.213403
8.0000000	38.0000000	1.2734449
8.0000000	31.0000000	-0.1086521
12.0000000	47.0000000	1.0105196
11.0000000	40.0000000	0.1382479
14.0000000	50.0000000	0.526576
18.0000000	54.0000000	-0.9674356
2.0000000	11.0000000	-0.9980314
4.0000000	18.0000000	-0.6358151
14.0000000	55.0000000	1.5702354
13.0000000	52.0000000	1.4876321
7.0000000	20.0000000	-1.7709320
22.0000000	60.0000000	-1.5227296
5.0000000	22.0000000	-0.3759722
6.0000000	26.0000000	-0.7761292
9.0000000	24.0000000	-0.4389370
9.0000000	20.0000000	-0.509113
9.0000000	30.0000000	-0.6163370
10.0000000	41.0000000	0.8457729
9.0000000	29.0000000	-1.0138266
11.0000000	40.0000000	-0.1382479
6.0000000	22.0000000	-0.666075
9.0000000	33.0000000	-0.2235483
14.0000000	52.0000000	0.9777367
13.0000000	53.0000000	1.8853316
14.0000000	55.0000000	1.5702354
13.0000000	48.0000000	0.979338
10.0000000	40.0000000	-0.9483333
19.0000000	56.0000000	-0.7625318
16.0000000	52.0000000	-0.942740
19.0000000	55.0000000	-0.979714
11.0000000	45.0000000	1.1256758
11.0000000	47.0000000	1.3205349
11.0000000	43.0000000	0.7306767
4.0000000	19.0000000	-0.438355
4.0000000	20.0000000	-0.2408760

PREVISAO  
\*\*\*\*\*

INTERVALO DE CONFIANCA 95%

	VALOR MEDIO	VALOR INDIVIDUAL
X+3S =	26.9019913	84.6178180
X+2S =	21.2622471	68.6651104
X+1S =	15.6225029	53.1311209
X+0S =	9.9827586	38.0044747
X-1S =	4.3430144	23.0978326
X-2S =	-1.2967299	10.5385337
X-3S =	-6.9364741	-2.7820471

Anexo 02 - Dados do programa de regressão linear simples para  $C_c$  x e

INTERSECCAO COM O EIXO Y (A)	=	0,1092
INCLINACAO (B)	=	0,3791
DESVIO PADRAO DA ESTIMATIVA	=	0,0604
DESVIO PADRAO DA INCLINACAO	=	0,0752
DESVIO PADRAO DA INTERSECCAO	=	1,1095
INDICE T PARA B	=	5,0421
VALOR DE T PARA ALPHA = 0,025	=	2,0483
COEFICIENTE DE CORRELACAO	=	0,6890
LIMITE INF. CONFIANCA - 95%	=	0,4386
LIMITE SUP. CONFIANCA - 95%	=	0,8411

X(I)	Y(I)	RESIDUO/STU
0,8100000	0,2500000	0,8616855
0,8700000	0,2800000	-0,2816977
1,0000000	0,2800000	-0,2885094
0,7200000	0,1500000	-0,2283630
0,8700000	0,2400000	0,1398377
0,5700000	0,1500000	0,7125564
0,8300000	0,1200000	-0,0743895
0,8000000	0,1900000	-0,5701703
0,9000000	0,2000000	-0,5301662
1,0100000	0,3100000	0,9308063
1,0000000	0,4500000	-2,6026866
0,7000000	0,1300000	-0,8101948
1,0000000	0,3200000	0,5144345
0,7000000	0,2000000	0,3480252
0,7200000	0,1900000	0,4334771
1,0000000	0,2700000	-0,0007743
0,8000000	0,2100000	-0,2392503
1,0200000	0,2500000	-0,4556017
0,6300000	0,1500000	0,3356187
0,7000000	0,1900000	-0,9302071
1,0200000	0,3700000	-0,2299164
1,0000000	0,2800000	-0,3355894
0,7100000	0,1600000	-0,0001750
1,0000000	0,2300000	-0,9747056
0,8400000	0,1200000	-1,4774785
1,0000000	0,3300000	-0,6798945
1,0000000	0,1200000	-2,7947656
0,9000000	0,2600000	-0,0892261
0,7700000	0,1400000	-0,7074628
0,7400000	0,1900000	0,3080211

VALORES DOS RESIDUOS EM ORDEM CRESCENTE

1	-2,7948	2	-1,4775	3	-0,9747	4	-0,9302	5	-0,8102	6	-0,7075	7	-0,6665
8	-0,5702	9	-0,5302	10	-0,4556	11	-0,3356	12	-0,2393	13	-0,2284	14	-0,0002
15	0,0008	16	0,0744	17	0,0862	18	0,3050	19	0,3199	20	0,3362	21	0,3480
22	0,4335	23	0,5144	24	0,6799	25	0,7126	26	0,8617	27	0,9308	28	0,9817
29	1,5249	30	2,6027										

VALORES DE  $(2i-1)/2n$  PARA USAR NA REPRESENTACAO GRAFICA DE X(I)

1	0,0161	2	0,0454	3	0,0806	4	0,1129	5	0,1452	6	0,1774	7	0,2097
8	0,2419	9	0,2742	10	0,3065	11	0,3387	12	0,3710	13	0,4032	14	0,4355
15	0,4677	16	0,5000	17	0,5323	18	0,5645	19	0,5968	20	0,6290	21	0,6613
22	0,6935	23	0,7258	24	0,7581	25	0,7903	26	0,8226	27	0,8548	28	0,8871
29	0,9194	30	0,9516	31	0,9831								

PREVISAO

INTERVALO DE CONFIANCA 95%

	VALOR MEDIO	VALOR INDIVIDUAL
X+3S =	1,3274532	0,3215205
X+2S =	1,1701910	0,2862750
X+1S =	1,0709288	0,2486821
X+0S =	0,8790667	0,2017314
X-1S =	0,7304045	0,1355078
X-2S =	0,5811423	0,0599272
X-3S =	0,4318802	-0,0180024

Anexo 03 - Dados do programa de regressão linear simples 113  
para  $C_e \times I_p$

INTERSECCAO COM O EIXO Y (A) = 0.0017  
 INCLINACAO (B) = 0.0012  
 DESVIO PADRAO DA ESTIMATIVA = 0.0194  
 DESVIO PADRAO DA INCLINACAO = 0.0003  
 DESVIO PADRAO DA INTERSECCAO = 0.5125  
 INDICE T PARA B = 3.5225  
 VALOR DE T PARA ALPHA = 0.025 = 2.0452  
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 0.5474  
 LIMITE INF. CONFIANCA = 95% = 0.2395  
 LIMITE SUP. CONFIANCA = 95% = 0.7553

X(I)	Y(I)	RESIDUO/STD
28.0000000	0.0300000	-0.2466612
31.0000000	0.0400000	-0.0894283
39.0000000	0.0300000	-0.9163689
39.0000000	0.0300000	-0.9163689
25.0000000	0.0100000	-1.0754878
48.0000000	0.0300000	-0.9752514
18.0000000	0.0200000	-0.0318080
11.0000000	0.0200000	0.2726046
11.0000000	0.0200000	0.2726046
38.0000000	0.0600000	-0.6917248
26.0000000	0.0200000	-0.6406332
38.0000000	0.0800000	1.7231990
37.0000000	0.0800000	1.7680015
24.0000000	0.0200000	-0.5188682
15.0000000	0.0300000	0.5448116
14.0000000	0.0200000	-0.0899570
41.0000000	0.0400000	-0.5223969
17.0000000	0.0500000	-1.4545207
28.0000000	0.0300000	-0.2466612
23.0000000	0.0100000	-0.9754878
40.0000000	0.0300000	-0.9752514
21.0000000	0.0200000	-0.3362206
37.0000000	0.1000000	2.8155557
30.0000000	0.0700000	1.6945221
28.0000000	0.0200000	-0.7623983
13.0000000	0.0100000	-0.3648975
30.0000000	0.0300000	-0.3684262
33.0000000	0.0200000	-1.0668109
51.0000000	0.0600000	-0.0997479
19.0000000	0.0200000	-0.2144556
18.0000000	0.0200000	-0.1535731

VALORES DOS RESIDUOS EM ORDEM CRESCENTE

1	-1.0955	2	-1.0666	3	-0.9773	4	-0.9773	5	-0.9737	6	-0.9164	7	-0.9164
15	-0.7624	9	-0.6406	10	-0.5224	11	-0.5189	12	-0.3684	13	-0.3649	14	-0.3362
22	-0.2467	16	-0.2467	17	-0.2145	18	-0.1536	19	-0.0997	20	-0.0318	21	0.0804
24	0.0900	23	0.2726	24	0.2726	25	0.5448	26	0.6917	27	1.4545	28	1.6945
	1.7232	30	1.7841	31	2.8156								

VALORES DE  $(2I-1)/2N100$  PARA USAR NA REPRESENTACAO GRAFICA DE X(I)

1	0.0156	2	0.0409	3	0.0781	4	0.1094	5	0.1406	6	0.1719	7	0.2031
15	0.2344	9	0.2656	10	0.2969	11	0.3281	12	0.3594	13	0.3906	14	0.4219
22	0.4531	16	0.4844	17	0.5156	18	0.5469	19	0.5781	20	0.6094	21	0.6406
24	0.6719	23	0.7031	24	0.7344	25	0.7656	26	0.7969	27	0.8281	28	0.8594
	0.8906	30	0.9219	31	0.9531	32	0.0000						

PREVISAO

\*\*\*\*\*

INTERVALO DE CONFIANCA 95%

	VALOR MEDIO	VALOR INDIVIDUAL
X+3S =	59.4637156	0.0490675
X+2S =	48.9005416	0.0433188
X+1S =	38.3373676	0.0368299
X+0S =	27.7741935	0.0273939
X-1S =	17.2110195	0.0114903
X-2S =	6.6478455	-0.0065603
X-3S =	-3.9153285	-0.0257512

Anexo 04 - Dados do programa de regressão linear simples 114  
para  $N \times \phi_T$

INTERSECCAO COM O EIXO Y (A) = -0.3578  
 INCLINACAO (B) = 1.1296  
 DESVIO PADRAO DA ESTIMATIVA = 5.1327  
 DESVIO PADRAO DA INCLINACAO = 0.2463  
 DESVIO PADRAO DA INTERSECCAO = 0.7134  
 INDICE T PARA B = 4.5867  
 VALOR DE T PARA ALPHA = 0,025 = 2.1773  
 COEFICIENTE DE CORRELACAO = 0.7980  
 LIMITE INF. CONFIANCA - 95% = 0.4637  
 LIMITE SUP. CONFIANCA - 95% = 0.9334

X(I)	N	Y(I)	RESIDUO/STD
18.000000	28.000000	28.000000	-1.5635690
12.000000	6.000000	6.000000	-1.0125817
13.000000	17.000000	17.000000	0.5208266
14.000000	20.000000	20.000000	0.2852356
7.000000	9.000000	9.000000	0.2866484
8.000000	7.000000	7.000000	-0.3270865
12.000000	6.000000	6.000000	-1.0125817
12.000000	7.000000	7.000000	-1.2073911
14.000000	17.000000	17.000000	0.3007504
6.000000	15.000000	15.000000	1.6717008
20.000000	18.000000	18.000000	-0.8248770
28.000000	34.000000	34.000000	0.5317839
11.000000	9.000000	9.000000	-0.5976562
18.000000	16.000000	16.000000	-0.7743835

VALORES DOS RESIDUOS EM ORDEM CRESCENTE

1 -1.2074 2 -1.0126 3 -1.0126 4 -0.8249 5 -0.7744 6 -0.5977 7 -0.3271  
 8 0.2826 9 0.3038 10 0.5208 11 0.5318 12 0.8852 13 1.5636 14 1.6717

VALORES DE  $(|Z|-1)/2N$  PARA USAR NA REPRESENTACAO GRAFICA DE X(I)

1 0.0333 2 0.1000 3 0.1667 4 0.2333 5 0.3000 6 0.3667 7 0.4333  
 8 0.5000 9 0.5667 10 0.6333 11 0.7000 12 0.7667 13 0.8333 14 0.9000

PREVISAO  
\*\*\*\*\*

INTERVALO DE CONFIANCA 95%

		VALOR MEDIO		VALOR INDIVIDUAL	
X+3S =	31.1206713	25.0354199	44.5687850	19.9607405	49.6439644
X+2S =	25.3403523	21.3919724	35.1540213	15.1490212	41.3969725
X+1S =	19.5600333	17.4392630	26.0480196	9.7679195	33.7193631
X+0S =	13.7807143	12.2275264	18.2010451	3.6466165	26.7819549
X-1S =	8.0003953	4.3805518	12.9893085	-3.2907917	20.6606519
X-2S =	2.220763	-4.7254499	9.0365990	-10.9664011	15.2795502
X-3S =	-3.5502428	-14.1402130	5.3926515	-19.2153930	10.4678309

Anexo 05 - Dados do programa de regressão linear simples para C x N 115

INTERSECCAO COM O EIXO Y (A) =	5.0098
INCLINACAO (B) =	0.2504
DESVIO PADRAO DA ESTIMATIVA =	2.3110
DESVIO PADRAO DA INCLINACAO =	0.0594
DESVIO PADRAO DA INTERSECCAO =	0.3989
INDICE T PARA B =	4.2137
INDICE T PARA A =	14.0646
COEFICIENTE DE CORRELACAO =	0.6098
LIMITE INF. CONFIANCA - 95% =	0.3315
LIMITE SUP. CONFIANCA - 95% =	0.7904

DADOS	PREVISAO	RESID.	ERRO DA PREVISAO				
			PADRO.	VALOR MEIO	VALOR INDIVIDUAL		
X(I)	Y(I)	ESTY(I)	RES(I)	ERM(I)	CVM(I)	EM(I)	CV(I)
28.00	17.08	12.62	1.93	0.93	7.38	2.49	19.74
11.00	7.53	8.36	-0.36	0.44	5.30	2.35	28.14
9.00	5.45	7.86	-1.04	0.50	6.38	2.36	30.68
13.00	9.28	8.86	0.18	0.41	4.65	2.35	26.48
8.00	5.72	7.61	-0.82	0.54	7.07	2.37	31.17
17.00	8.30	9.87	-0.69	0.45	4.54	2.35	23.66
12.00	14.76	8.61	2.66	0.42	4.92	2.35	27.28
9.00	13.30	7.86	2.35	0.50	6.38	2.36	30.68
20.00	11.00	10.62	0.17	0.55	5.14	2.37	22.37
7.00	5.85	7.36	-0.65	0.58	7.86	2.38	32.36
10.00	9.05	8.11	0.41	0.47	5.79	2.36	29.67
6.00	7.40	7.11	0.12	0.62	8.75	2.39	33.65
14.00	8.95	9.12	-0.07	0.41	4.48	2.35	25.75
11.00	8.08	8.36	-0.12	0.44	5.30	2.35	28.14
12.00	7.24	8.61	-0.59	0.42	4.92	2.35	27.28
12.00	8.67	8.61	-0.64	0.42	4.92	2.35	27.28
8.00	8.00	7.11	0.38	0.62	8.75	2.39	33.65
35.00	12.64	14.37	-0.75	1.32	9.17	2.66	18.51
30.00	9.15	13.12	-1.72	1.04	7.93	2.53	19.31
11.00	7.42	8.36	-0.41	0.44	5.30	2.35	28.14
20.00	11.46	10.62	0.36	0.55	5.14	2.37	22.37
10.00	7.79	8.11	-0.14	0.47	5.79	2.36	29.67
18.00	10.46	10.12	0.15	0.48	4.70	2.36	23.32
12.00	8.71	8.61	0.04	0.42	4.92	2.35	27.28
13.00	9.89	8.86	0.44	0.41	4.65	2.35	26.48
11.00	10.86	8.36	1.08	0.44	5.30	2.35	28.14
14.00	9.50	9.12	0.17	0.41	4.48	2.35	25.75
7.00	8.09	7.36	-0.55	0.58	7.86	2.38	32.36
8.00	4.57	7.61	-1.32	0.54	7.07	2.37	31.17
22.00	13.53	11.12	1.04	0.63	5.68	2.40	21.55
11.00	8.40	8.36	-0.83	0.44	5.30	2.35	28.14
18.00	8.80	10.12	-0.57	0.48	4.70	2.36	23.32

VALORES DOS RES. PADRONIZADOS EM ORDEM CRESCENTE

1	-1.7183	2	-1.3166	3	-1.3442	4	-0.8498	5	-0.8413
6	-0.8190	7	-0.7498	8	-0.3777	9	-0.6544	10	-0.5947
11	-0.3097	12	-0.5506	13	-0.3034	14	-0.3508	15	-0.1400
16	-0.1229	17	-0.3714	18	0.3414	19	0.1246	20	0.1436
21	0.1056	22	0.1698	23	0.1797	24	0.3247	25	0.3842
26	0.4052	27	0.4437	28	1.3437	29	1.0301	30	1.9298
31	2.3326	32	2.6593						

VALORES DE (ZI-1)/24)100 PARA USAR NA REPRESENTACAO GRAFICA DE RES(I)

1	0.0156	2	0.3469	3	0.3731	4	0.1094	5	0.1406
6	0.1719	7	0.2331	8	0.2344	9	0.2056	10	0.2299
11	0.3281	12	0.1594	13	0.1936	14	0.2119	15	0.4531
16	0.4899	17	0.5156	18	0.5409	19	0.5781	20	0.6094
21	0.6406	22	0.6719	23	0.7031	24	0.7344	25	0.7656
26	0.7969	27	0.8281	28	0.8594	29	0.8906	30	0.9219
31	0.9531	32	0.9844						



SUMMARY OF LINEAR MULTIPLE

X1	X2	X3	Y	
18.000	4.430	0.300	38.000	
12.000	15.100	0.450	13.000	
13.000	21.930	0.190	22.000	
14.000	4.490	1.300	23.000	
7.000	17.960	0.100	13.000	
8.000	23.480	0.350	9.000	
17.000	11.400	1.700	12.000	
12.000	14.040	0.500	7.000	
14.000	10.300	0.100	30.000	
6.000	22.560	0.000	22.000	
20.000	11.730	1.050	20.000	
28.000	10.440	0.000	37.000	
11.000	19.850	0.030	11.000	
14.000	23.660	1.700	21.000	
MEAN	13.780	15.031	0.009	19.857

CORRECTED X'Y MATRIX

ROW 1	.43435714E+03	-.19070706E+03	.53876571E+01
ROW 2	-.17070746E+03	.52004099E+03	-.25704029E+01
ROW 3	.53876571E+01	-.25704029E+01	.47716929E+01

CORRECTED X'X MATRIX

ROW 1	.47357143E+03
ROW 2	-.3370457E+03
ROW 3	-.21751429E+02

CORRECTED X'X INVERSE MATRIX

ROW 1	.27135079E-02	.86403391E-03	-.25977159E-02
ROW 2	.86403391E-03	.19070706E-02	.37687235E-04
ROW 3	-.25977159E-02	.37687235E-04	.22255007E-00

ANOVA

SOURCE	DF	SS	MS	F
TOTAL	13	.12647143E+04		
REGRESSION	3	.7830958E+03	.2610319E+03	5.4480323E+01
RESIDUAL	10	.47900871E+03	.47900871E+02	

COEFFICIENT OF MULTIPLE DETERMINATION (R\*\*2) = .02022185E+00  
 STANDARD ERROR OF ESTIMATE (SE) = .09267937E+01

COEFFICIENTS

STANDARD ERROR

T VALUES

DSUB0	.13912750E+02				
BHA(1)	-.10817439E+01	SD(1)	.16082590E+00	T(1)	-.6725510E+01
BHA(2)	-.13755031E+00	SD(2)	.130724500E+00	T(2)	-.1050508E+01
BHA(3)	-.59395457E+01	SD(3)	.151934703E+01	T(3)	-.3894932E+01

OBS.	Y-OBSERVED	Y-ESTIMATED (PREDICTED)	STANDARD ERROR	
			OF PREDICTED	INDIVIDUAL
1	.390000E+02	.297470E+02	.704678E+01	.990974E+01
2	.130000E+02	.183636E+02	.750235E+01	.100111E+02
3	.220000E+02	.187409E+02	.100799E+02	.170302E+02
4	.230000E+02	.195522E+02	.873601E+01	.969302E+01
5	.130000E+02	.163703E+02	.204823E+01	.647801E+01
6	.190000E+01	.124021E+02	.874943E+01	.115994E+02
7	.120000E+02	.127008E+02	.917900E+01	.107189E+02
8	.730000E+01	.189471E+02	.728392E+01	.104301E+02
9	.300000E+02	.470009E+02	.887798E+01	.97093E+01
10	.220000E+02	.126650E+02	.799537E+01	.102793E+02
11	.200000E+02	.242700E+02	.993701E+01	.121133E+02
12	.370000E+02	.401179E+02	.116503E+02	.13355E+02
13	.130000E+02	.139417E+02	.871323E+01	.11111E+02
14	.210000E+02	.149204E+02	.123601E+02	.145884E+02

RESIDUOS RESIDUOS RES/STE

.325303E+01	.119146E+01
-.568161E+01	-.346311E+00
-.23144E+01	-.090400E+00
.135000E+01	.499800E+00
-.337632E+01	-.487300E+00
-.340711E+01	-.491150E+00
-.799381E+01	-.102470E+00
-.119447E+02	-.172440E+01
.249354E+01	.764210E+00
.333000E+01	.134720E+01
-.427657E+01	-.817500E+00
-.111700E+01	-.450000E+00
-.290177E+01	-.270710E+00
.505455E+01	.874799E+00

STANDARDIZED RESIDUOS IN INCREASING ORDER

1 -1.7244	2 -0.8465	4 -.70174	4 -0.4912	5 -0.4874
6 -0.4521	7 -0.2276	8 -.71023	9 0.4875	10 0.4894
11 0.7642	12 0.8748	13 1.1915	14 1.3472	

VALUES OF (Z-1)/2.4100 TO BE USED IN THE PROBABILITY PAPER

1 0.0157	7 0.1071	3 0.1780	4 0.2530	5 0.3214
6 0.3750	12 0.8312	13 0.9224	14 0.9641	10 0.6766

Anexo 06 - Dados do programa de regressao linear múltipla para  $\phi' = j(N, 0V, c')$

## BIBLIOGRAFIA

1. ANG, A.H-S. & TANG, W.H. Probability concepts in engineering design. New York, John Wiley, 1975.
2. BARDEN, L. & SIDES, G. The microstructure of dispersed and flocculated samples of kaolinite, illite, and montmorillonite. Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 8(3):391-9, 1971.
3. BEURLIN, K. & SENA SOBRINHO, M. Formações gondwânicas do Rio Grande do Sul. Boletim do Museu Nacional: Geologia, Rio de Janeiro, 22:1-25, 1955.
4. BISHOP, A.W. & HENKEL, D.J. The measurement of soil properties in the triaxial test. 2.ed. London, Edward Arnold, 1978.
5. BORTULUZZI, C.A. Contribuição à geologia da região de Santa Maria-Rio Grande do Sul-Brasil. Pesquisas do Instituto de Geociências, Porto Alegre, UFRGS, 4:7-86, 1974.
6. BOWLES, J.E. Engineering properties of soils and their measurement. New York, McGraw-Hill, 1978.
7. \_\_\_\_\_. Foundation analysis and design. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1977.
8. BRASIL. Ministério da Agricultura. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Aspectos gerais do clima do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1972. v.2.
9. CARRARO, C.C. et alii. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Instituto de Geociências da UFRGS, 1974. Mapa nº 8, out. 1974. Esc.1:1.000.000

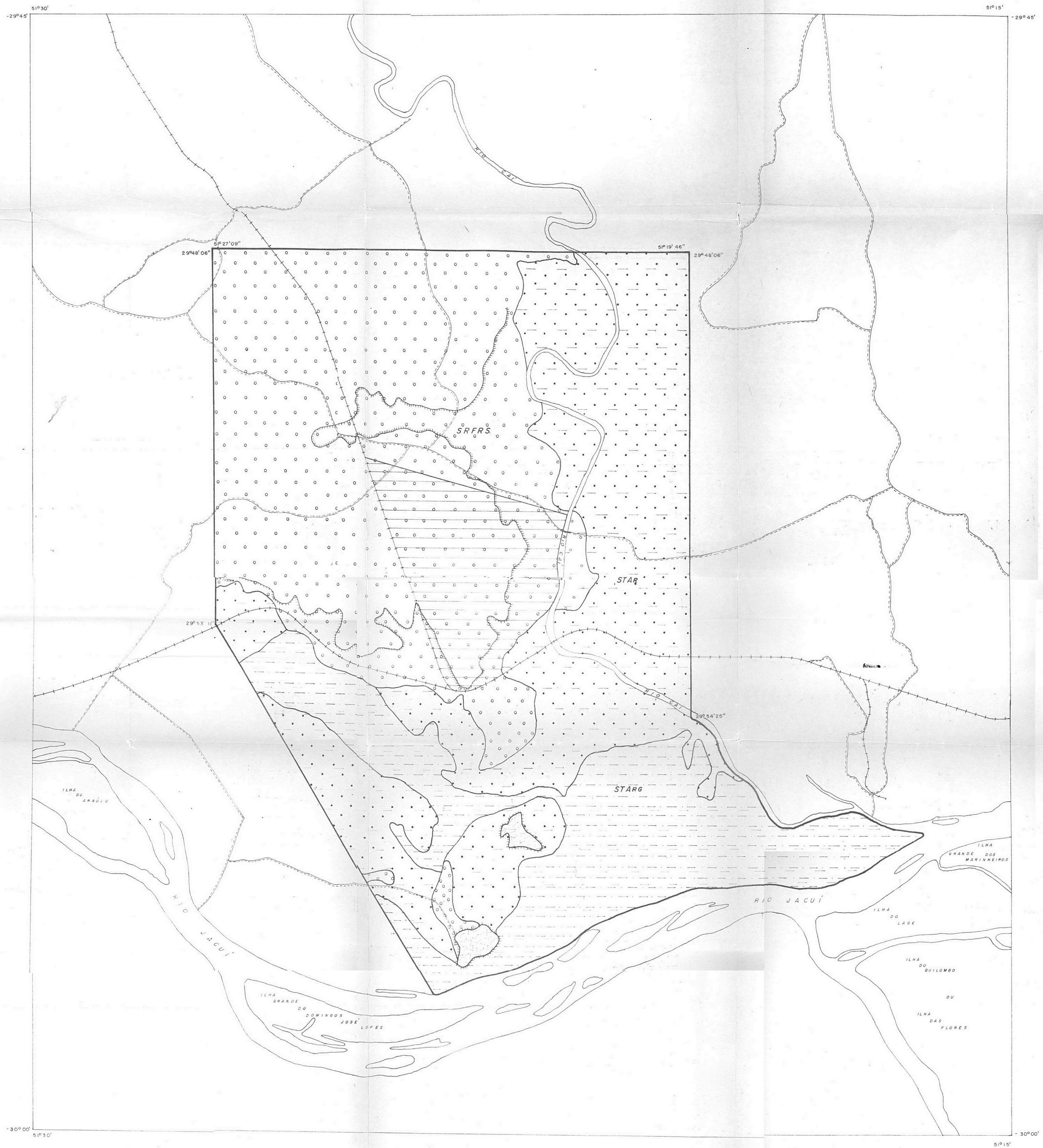
10. COATES, D.F. Fundamentos de mecânica de rocas. Madrid, Dirección de Minas, Ministério de Energia, Minas Y Recursos Naturales, 1973.
11. COULON, F.K. Mapeamento geotécnico de Morretes e Montenegro. Porto Alegre, MEC-UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Geociências, 1973.
12. COULON, F.K. & HAUSMAN, A. Ocorrência de crateras de desabamento na Formação Rosário do Sul. Pesquisas do Instituto de Geociências, Porto Alegre, UFRGS, 10:55-64, 1978.
13. FIGUEIREDO FILHO, P.M. de & BORTOLUZZI, C.A. Lêxico extra-tigráfico do Rio Grande do Sul. Pesquisas do Instituto de Geociências, Porto Alegre, UFRGS, 6:9-74, dez. 1975.
14. FOLQUE, J. Características mecânicas de solos deduzidas de ensaios de penetração. Geotecnia, Lisboa, (17):73-83, jun./jul. 1976.
15. \_\_\_\_\_. Compressibilidade de areias determinada por ensaios de penetração. Geotecnia, Lisboa, (6):19-27, fev./mar. 1973.
16. FUSCO, P.B. Fundamentos estatísticos da segurança das estruturas. In: \_\_\_\_\_. Estruturas de concreto. São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977. v.2.
17. GAMERMAN, N. Contribution a l'étude de la diagénese des grés: couler rouge, argiles authigènes et induration. Formations d'Estrada Nova, de Rosário do Sul et de Botucatu du Brésil et Buntsands-Strasbourg. Strasbourg, Institut de Géologie de la Université Louis Pasteur, 1972. Thèse de doctor-ingénieur.
18. \_\_\_\_\_. Formação Rosário do Sul. Pesquisas do Instituto de Geociências, Porto Alegre, UFRGS, 2:5-35, 1973.
19. GORDON Jr., M. Classificação das formações gondwânicas do Paranã, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Notas Preli-

minares e Estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia,  
Rio de Janeiro, DMPM, 38a:1-20, 1947.

20. GRIM, R.E. Applied clay mineralogy. New York, McGraw-Hill, 1962.
21. KOCH, G.S. & LINK, R.F. Statistical analysis of geology data. New York, John Wiley, 1970. v.1, 2.
22. KOPPE, J.C. & COULON, F.K. Análise estatística dos ensaios de penetração dinâmica e estática em solo residual da Formação Rosário do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3., Itapema, SC, 4-8 maio de 1981. Anais. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1981. v.3, p.155-66.
23. KRYNINE, D.P. & JUDD, W.R. Principles of engineering geology and geotechnics. New York, McGraw-Hill, 1957.
24. LAMBE, T.W. & WHITMAN, R.V. Soil mechanics: SI version. New York, John Wiley, 1979.
25. LEMOS, F.C. de et alii. Levantamento de reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul, 1976.
26. LEONARDS, G.A. Foundation engineering. New York, McGraw-Hill, 1962.
27. LIMA, M.J.C.P.A. de. Prospecção geotécnica do subsolo. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1979.
28. MACIEL FILHO, C.L. Caracterização geotécnica das formações sedimentares de Santa Maria, RS. Rio de Janeiro, Universidade Federal, 1977. Diss. mestr.
29. MELLO, V.F.B. de. The standard penetration test. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4., San Juan, June 1971. Proceedings. New York, ASCE, 1971. v.1, p.1-86.

30. MITCHELL, J.K. Fundamentals of soil behavior. New York, John Wiley, 1976.
31. MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul, 1961.
32. NANNI, L.F. Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1981. Caderno técnico.
33. NOGUEIRA, J.B. Mecânica dos solos; ensaio de laboratório. São Paulo, Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, 1977. 86p.
34. NOVAIS-FERREIRA, H. & SILVA, J.A.H. da. Notas sobre solos expansivos, seu relacionamento, previsão de comportamento. Geotecnia. Lisboa, (8):5-16, nov./dez. 1973.
35. PRESA, E.P. O penetrômetro estático na determinação dos limites de liquidez e de plasticidade. Geotecnia, Lisboa, (29):67-81, Jul. 1980.
36. RODRIGUEZ ALONSO, U. Correlações entre resultados de ensaios de penetração estática e dinâmica para a cidade de São Paulo. Solos e Rochas, Rio de Janeiro, 3(3):19-25, dez.
37. SANTOS, P.S. Tecnologia de argilas aplicada às argilas brasileiras. São Paulo, Edgard Blucher, 1975. v.1, cap.7.
38. SCHMERTMANN, J.H. Measurement of insitu shear strength. In: CONFERENCE ON IN SITU MEASUREMENT OF SOIL PROPERTIES, Raleigh, N.C., June 1-4, 1975. Proceedings. New York, ASCE, 1976. v.2, p.57-138.
39. SILVA FILHO, B.C. da. Comportamento expansivo de algumas formações sedimentares no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. Estudos Tecnológicos, Acta Geologica Leopoldensia, São Leopoldo, Unisinos, 1(1):51-120, 1976.

40. TERZAGHI, K. & PECK, R.B. Mecânica dos solos na prática da engenharia. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1962.
41. TROFIMENKOV, Yu. G.; MARIUPOL'SKII, L.G.; PYARNPUU, Z.K. Determining the strength characteristics of clayey soils from static-probe data. Soil Mechanics and Foundation Engineering, New York, 14(6):385-7, Nov./Dec. 1977.
42. TSYTOVICH, N. Soil mechanics. Moscow, Mir, 1976.
43. WHITE, I.C. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Relatório sobre as "Coal Measures" e rochas associadas do sul do Brasil, 1908. Parte I: Geologia. 300p.
44. ZÁRUBA, Q. & MECNCL, V. Engineering geology. Amsterdam, Elsevier, 1976.



- LEGENDA**
- QUATERNÁRIO**
- Depósitos Argilosos
  - Depósitos Arenosos
- CRETÁCICO**
- Formação Serra Geral
- TERCIÁRIO**
- Formação Rosário do Sul
- UNIDADES GEOLÓGICAS**
- UNIDADES GEOTÉCNICAS**
- STArg** Solo transportado argiloso
  - STAr** Solo transportado arenoso
  - SRFRS** Solo residual da Formação Rosário do Sul

- Estradas
- Rios
- Fios de água
- Contatos geológicos coincidentes com contatos de unidades geotécnicas
- Área do complexo industrial do IIIº Polo Petroquímico
- Áreas sujeitas a inundações temporárias
- Área de desnível acentuado

MAPA GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO  
DA REGIÃO DO IIIº PÓLO PETROQUÍMICO  
TRIUNFO - RS  
ESCALA 1 : 50 000