

## DETERMINAÇÕES DO GRAU DE SATURAÇÃO DE ALGUNS SOLOS AO FINAL DO ENSAIO CBR

Wosniacki, Carlos Augusto (UFPR) E-mail: carloswosniacki@ig.com.br  
Vogt, Vanessa (UFPR) E-mail: vany\_vogt@hotmail.com  
Moreira, Luis Fernando (UFPR) E-mail: moreira\_luisfernando@yahoo.com.br  
Quadros, Carla de (UFPR) E-mail: carlafernandadequadros@yahoo.com.br  
Nascimento, Ney (UFPR) E-mail: neyan@ufpr.br

**Resumo:** Este artigo apresenta os resultados obtidos através de ensaios CBR-(Califórnia Bearing Ratio), realizados com amostras dos solos Guabirotuba e Camarinha da Região Metropolitana da cidade de Curitiba-PR, e os solos Silte (Formação Ponta Grossa) e Areia (Formação Furnas) da região de Ponta Grossa- PR, dos quais foram determinados também granulometria e índices físicos. Observou-se que eles não apresentaram saturação completa ao final das 96 horas de imersão em água, conforme pretendido pelos ensaios CBR.

**Palavras-chave:** Compactação, Grau de saturação, CBR

## EVALUATION OF THE DEGREE OF SATURATION FOR SOME SOILS AT THE END OF CBR TESTS

**Abstract:** This paper presents values of degree of saturation obtained at the end of CBR (California Bearing Ratio) tests. Soil samples collected from different geological formations in the State of Paraná, namely Guabirotuba - Curitiba, Camarinha - Balsa Nova, Furnas and Ponta Grossa, were characterized, prepared and submitted to compaction, soaking in water and penetration, according to CBR standard. It was noticed that, regardless the type of soils tested and after 96 hours of inundation, none of the specimens showed 100% saturation, as it was expected. This conclusion suggests a bigger soaking period for soils, especially the ones having bigger silt or clay fraction.

Key words: compaction - degree of saturation - CBR

### 1. Introdução

O objetivo desse trabalho é avaliar a hipótese de que após os quatro dias de imersão (NBR 9895 e DNER-ME 093/94), a amostra pode não ter ficado totalmente saturada. Índices físicos foram obtidos, especialmente o teor de umidade final dos ensaios CBR, na tentativa de se quantificar e melhor entender o estado das amostras após o período de inundação. Para tal, quatro amostras de solos foram coletadas, representando materiais naturais típicos do Paraná.

Os locais de coletas dos solos analisados foram escolhidos a partir das características mineralógicas e granulométricas de cada sítio, levando em consideração as suas histórias geológicas, pedológicas em um perfil hipotético desde Curitiba até a cidade de Ponta Grossa.

O ponto A foi selecionado pela facilidade do acesso para a coleta e também porque a Formação Guabirotuba vem apresentando, ao longo dos anos, surpresas geotécnicas quanto a expansão de suas argilas em obras civis. Para a seleção do ponto B optou-se por um local em que os solos fossem provenientes da alteração de rochas metamórficas. Já os pontos C e D atenderam a necessidade de se analisar solos provenientes das maiores unidade geológicas do segundo planalto do Paraná, Formação Ponta Grossa e Formação Furnas respectivamente.

### 2. Coleta das Amostras

Quatro amostras de solos granulares foram coletadas: uma em Curitiba, uma na região metropolitana de Campo Largo e duas nas imediações da cidade de Ponta Grossa. Esses pontos de coleta foram também selecionados com a finalidade de se obter materiais com diferentes histórias pedológicas e procedência geológica diversa, portanto, com constituições mineralógicas e granulométricas variadas.

## 2.1 Amostra A

A primeira amostra foi coletada no Contorno Sul BR 376, km 598+100, próximo a Rua das Araucárias na cidade de Curitiba, acesso secundário para a cidade de Araucária, coordenadas planas 66.802E/7.177.762N e elevação de 915m (Figura 1).

No local da coleta verificou-se que o solo apresentava-se muito alterado (A5/A4) e coeso (C2/C3), caracterizando solo residual silto arenoso, proveniente das porções basais da Formação Guabirotuba da Bacia Sedimentar de Curitiba. Foi definido por Bigarella e Salamuni (1962) como sedimentos fluvio-lacustres ou fluvio-playas, depositados diretamente sobre o embasamento gnáissico migmatítico, Lopes (1966), caracterizado pela presença de estruturas sedimentares primárias preservadas, como estratificação cruzada acanalada, marcadas por intercalações de lâminas milimétricas de silte arenoso e areias finas a grossas.



Figura 1- Localização Amostra A - Contorno Sul próximo a entrada de Araucária – Fonte: Google Map

O sítio foi classificado qualitativamente como de solo silte arenoso. Definido na base por contato brusco com litótipos gnáissicos alterados e intemperizados, em uma camada métrica erosiva, e no topo por solos orgânicos, avermelhados, de caráter silto argiloso, com pouca ou nenhuma areia. Para a coleta foi necessário abrir um poço de 1,00 x 1,50 x 0,50 m , em talude natural no terreno, onde se obtiveram 50 kg de material (Figura 2).



Figura 2- Sítio e coleta da amostra A

## 2.2 Amostra B

A segunda amostra foi coletada no antigo acesso de Campo Largo a Ponta Grossa, conhecida também como Estrada da Serrinha, na cidade de Campo Largo, coordenadas planas 637.207 E/7.182.589N e elevação de 1.121m (Figura 3). O local de coleta é caracterizado por relevo ondulado, com cristas irregulares e encostas naturais planas a convexas.



Figura 3 - Localização da amostra B – Estrada da Serrinha - Fonte :Google Map

Localmente os solos desenvolvem-se pouco espessos e heterogêneos, de 1m a 5m, em uma seqüência vertical de solo residual da Formação Camarinha até solos com característica de talus coberto por mata de capoeira.

A composição geral do solo residual é silto arenoso, em tons vermelhos a alaranjados. A porção intermediária, de transição, passa a solos variegados cinza claro, e na porção superior de talus, com característica de solo silto arenoso contendo constantes nódulos de argila.

Muratori (1966) apresentou formalmente a Formação Camarinha como unidade geológica mapeável, desmembrando-a do Grupo Açungui. O mesmo autor identificou e descreveu a unidade como siltitos intercalados por lentes conglomeráticas e arcossianas, caracterizado-a por discordância angular na base, com os litotipos do Grupo Açungui, e no topo pela discordância angular com as rochas da Supersequência Rio Ivaí, da Bacia do Paraná.

Para a coleta abriu-se uma trincheira vertical de 1,50 x 1,00 x 1,00m, onde se coletou a amostra de solo cortando o talude. O solo na trincheira apresentou, do topo para a base, material orgânico com 0,50 m, delimitado por linha de matacões (geralmente quartzo), seguido por solo silte arenoso cinza também com 0,50 m e alteração de rocha, com blocos de rocha alterada em meio a solo residual com estruturas primárias preservadas (Figura 4).



Figura 4 – Coleta e sitio da amostra B

### **2.3 Amostra C**

A terceira amostra foi coletada na cidade de Ponta Grossa, em um talude de corte, na rodovia PR-151, distante 200 metros da interseção com a rodovia PR-438 saída para Teixeira Soares, coordenadas planas 585.550E / 7.212.068N e elevação 804m, figura 5.



Figura 5 - Localização amostra C - Fonte :Google Map

O solo coletado possui característica pelítica, proveniente da alteração dos folhelhos da Formação Ponta Grossa



Figura 6). Essa foi caracterizada por Rostirolla *et. al.* (2007) como contendo folhelhos acinzentados ou amarelados quando alterados, e arenitos finos, micácios intercalados por lâminas de siltitos.



Figura 6 - Sítio e perfil da amostra C

#### 2.4 Amostra D

A quarta amostra foi coletada na cidade de Ponta Grossa, no perímetro urbano, na rodovia PR-151, em jazida situada nas proximidades da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), coordenadas 587647E/7.229429N e elevação de 860 m (Figura 7). Localmente há um contato por falha da Formação Ponta Grossa com a Formação Furnas.



Figura 7 – Localização Amostra D - Fonte :Google Map

O solo desenvolveu-se sobre sedimentos da Formação Furnas e sofreu pouco transporte. Tratam-se de arenitos finos a muito finos, da fase de transição para a Formação Ponta Grossa (Rostirolla *et. al*, 2007), localmente constituídos por arenitos conglomeráticos, com lentes pelíticas em transição no topo para a Formação Ponta Grossa (Figura 8).



Figura 8 – Siteo e perfil do solo D

### 3. Ensaio Laboratoriais

As amostras foram submetidas a ensaios de caracterização, teor de umidade natural, massa específica dos grãos ( $\gamma_s$ ), limite de liquidez (LL), limite plasticidade (LP), granulometria por peneiramento e sedimentação, compactação com Proctor Normal, CBR, e umidade após o ensaio de CBR. A preparação das amostras para os ensaios de caracterização seguiu as recomendações da NBR 6457/84. Todas as amostras foram previamente secas à sombra.

Os ensaios nas amostras A e B foram realizados no laboratório da Fugro In Situ Geotecnia Ltda. Os ensaios nas amostras C e D foram realizados em dois laboratórios distintos, sendo que os ensaios de compactação, CBR e umidade natural foram executados no laboratório do DER – Departamento de Estradas e Rodagem do Paraná, Superintendência Regional dos Campos Gerais, e os ensaios de massa específica dos grãos, análise granulométrica, limite de liquidez e limite de plasticidade foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

### 4. Apresentação dos resultados

#### 4.1 Umidade Natural

Durante a coleta foram retiradas amostras para a determinação da umidade natural. As amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos e posteriormente secas em estufa. As umidades obtidas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 2- Umidade natural

Amostra	Descrição	Umidade (%)
A	Guabirota	17,80
B	Camarinha	25,32
C	Silte	32,55
D	Arenito	21,50

## 4.2 Granulometria

Para os solos provenientes de cada local foram realizados ensaios de granulometria com sedimentação a fim de se definir as faixas de tamanhos dos grãos. Foram utilizados os procedimentos da norma NBR 7181/84. A Tabela 3 mostra o resumo do resultado dos ensaios para cada amostra.

Tabela 4-Granulometria

Amostra	A	B	C	D
Argila (< 0,002 mm)	46,5%	9,2%	39%	10%
Silte (0,002 ↔ 0,06 mm)	27,8%	22,7%	54%	12%
Areia Fina (0,06 ↔ 0,2 mm)	11,3%	7,6%	2%	40%
Areia Média (0,2 ↔ 0,6 mm)	10,9%	16,8%	2%	38%
Areia Grossa (0,6 ↔ 2 mm)	2,9%	8,1%	2%	0%
Pedregulho (2 ↔ 60 mm)	0,6%	35,6%	1%	0%

Da análise dos ensaios granulométricos conclui-se que as amostras A, B, C, D são respectivamente: argila silte arenosa, pedregulho areno siltosa, silte argilo arenoso e areia silte argilosa.

## 4.3 Limites de Atterberg

Os limites de plasticidade e liquidez foram obtidos seguindo o procedimento das normas NBR 7180/84 e 6459/84, respectivamente. Tais limites visam avaliar o comportamento dos solos com a variação da umidade, para os limites onde o solo deixa o estado sólido passando para o estado plástico (LP) e o limite que o solo deixa de ser plástico e se torna líquido (LL), enquanto que para a determinação do índice de plasticidade se utiliza a diferença entre o LL e o LP.

Os resultados obtidos encontram-se descritos na Tabela 5. Na Figura 9 pode-se observar a faixa de variação da umidade em cada amostra.

Tabela 6-Limites De Atterberg

Amostra	LL	LP	IP
A	58%	23%	35%
B	27%	16%	12%
C	46%	36%	10%
D	20%	20%	0%

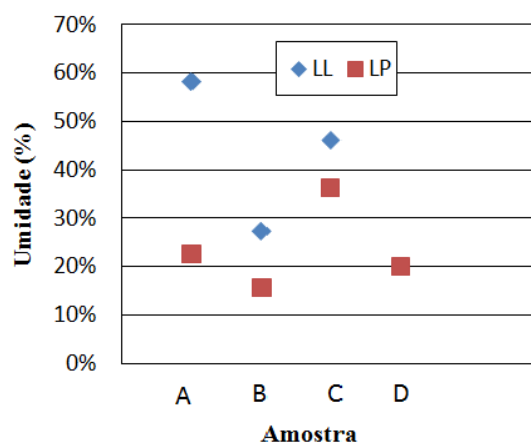


Figura 9 – Limites de Atterberg

## 4.4 Massa específica dos grãos

A determinação da massa específica dos grãos foi obtida através do ensaio previsto na norma DNER-ME 093/94. Esses resultados estão relacionados com o peso específico seco das



amostras. Foram utilizados picnômetros de 50 ml, para a realização dos mesmos. Os valores obtidos estão descritos na Tabela 4.

Tabela 7-Massa específica dos grãos

Amostra	Descrição	Massa específica dos grãos (kN/m <sup>3</sup> )
A	Guabiro tuba	26,458
B	Camarinha	26,320
C	Silte	26,821
D	Arenito	26,153

#### 4.5 Ensaio de compactação (Proctor Normal)

Os ensaios de compactação foram realizados com a energia prevista para o Proctor Normal seguindo-se o procedimento descrito na norma NBR 7182/1986. A figura 10 mostra a relação entre os teores de umidade e as massas específicas aparentes secas das amostras.

Com esse ensaio foi possível determinar as umidades ótimas e as massas específicas aparentes secas correspondentes para cada amostra, conforme ilustra a Tabela 5.

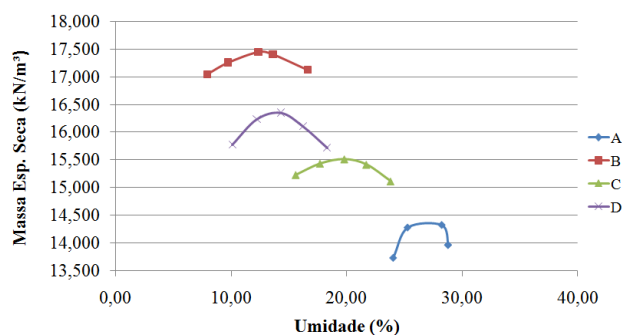


Figura 10 – Ensaio de Compactação (Proctor Normal)

Tabela 8- Umidade ótima e massa específica

Amostra	Descrição	Umidade ótima (%)	Massa específica ap. seca (kN/m <sup>3</sup> )
A	Guabiro tuba	28,2	14,323
B	Camarinha	12,7	17,462
C	Silte	19,7	15,510
D	Arenito	13,9	16,353

#### 4.6 Expansão

Com o objetivo de se verificar o comportamento das amostras em presença da água, segundo o procedimento normalizado, determinando-se uma possível expansão no ensaio CBR, foram deixados submersos em água, por 4 dias, os cilindros com solo compactado, tendo sido feitas as leituras de expansão até o último dia.

No gráfico da figura 11 pode-se visualizar a expansão das amostras em cada cilindro e na Tabela 06 a expansão das amostras compactadas na umidade ótima (PN).

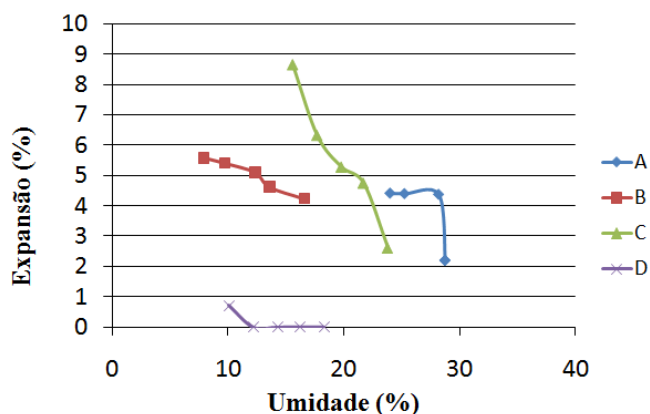


Figura 11 – Expansão no CBR

Tabela 9- Expansão na umidade ótima

Amostra	Descrição	Umidade ótima (%)	Expansão (%)
A	Guabiro tuba	28,2	4,55
B	Camarinha	12,7	5,10
C	Silte	19,7	5,30
D	Arenito	13,9	0,00

### 4.7 California Bearing Ratio

Após imersão em água, o solo foi submetido a penetração em prensa de CBR, para determinação do seu índice de suporte. Foi seguido o procedimento da NBR 9895/87. Na Figura12 pode-se visualizar o CBR encontrado para cada cilindro e na Tabela 07 está correlacionado o CBR encontrado com a umidade ótima para cada amostra.

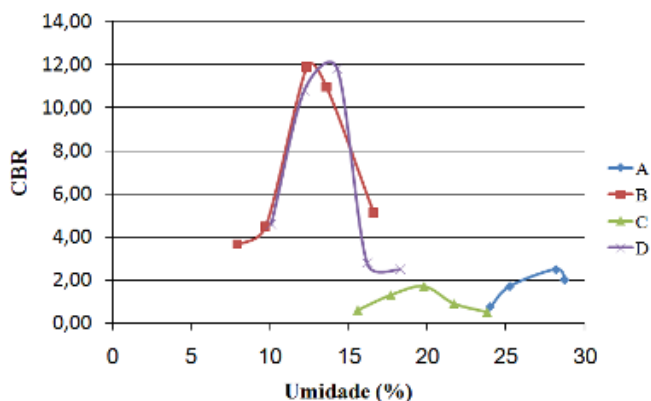


Figura 12 – Ensaio CBR

Tabela 10 - CBR encontrado na umidade ótima

Amostra	Descrição	Umidade ótima (%)	CBR
A	Guabiro tuba	28,2	2,6
B	Camarinha	12,7	11,6
C	Silte	19,7	1,7
D	Arenito	13,9	12,1

### 4.8 Grau de Saturação

Após a realização dos ensaios CBR, foram retiradas amostras de solos, na metade da altura de todos os cilindros, para se determinar a umidade no meio do corpo de prova ao final do ensaio, e seus respectivos graus de saturação. Nas Tabelas 8, 9, 10 e 11 estão os resumos os valores encontrados em cada cilindro de amostra testada.

Tabela 11- Grau de Saturação da amostra A

<b>AMOSTRA A</b>				
Cilindro	A1	A2	A3	A4
Densidade (kN/m <sup>3</sup> )	17,030	17,884	18,413	17,972
Umidade ensaio (%)	24,0	25,3	28,2	28,7
Massa esp. dos grãos (kN/m <sup>3</sup> )	26,458	26,458	26,458	26,458
Densidade Seca (kN/m <sup>3</sup> )	13,734	14,273	14,363	13,964
Índice de vazios	0,93	0,85	0,84	0,89
Umidade final (%)	27,9	24,2	22,6	22,2
Grau de saturação final (%)	80,91	76,79	72,56	67,27

Tabela 12 – Grau de saturação amostra B

<b>AMOSTRA B</b>					
Cilindro	B1	B2	B3	B4	B5
Densidade (kN/m <sup>3</sup> )	18,404	18,933	19,610	19,777	19,963
Umidade ensaio (%)	7,9	9,7	12,3	13,6	16,6
Massa esp. dos grãos (kN/m <sup>3</sup> )	26,320	26,320	26,320	26,320	26,320
Densidade Seca (kN/m <sup>3</sup> )	17,057	17,259	17,462	17,409	17,121
Índice de vazios	0,54	0,53	0,51	0,51	0,54
Umidade final (%)	17,7	17,9	16,4	17,5	16,8
Grau de saturação final (%)	87,94	90,61	86,28	92,06	83,47

Tabela 13 – Grau de saturação da amostra C

<b>AMOSTRA C</b>					
Cilindro	C1	C2	C3	C4	C5
Densidade (kN/m <sup>3</sup> )	15,225	15,431	15,510	15,412	15,107
Umidade ensaio (%)	15,6	17,7	19,8	21,7	23,8
Massa esp. dos grãos (kN/m <sup>3</sup> )	26,821	26,821	26,821	26,821	26,821
Densidade Seca (kN/m <sup>3</sup> )	13,170	13,110	12,947	12,664	12,203
Índice de vazios	1,04	1,05	1,07	1,12	1,20
Umidade final (%)	30,6	29,1	26,6	26,7	25,3
Grau de saturação final (%)	80,44	75,77	67,97	65,18	57,64

Tabela 14 - Grau de saturação amostra D

<b>AMOSTRA D</b>					
Cilindro	D1	D2	D3	D4	D5
Densidade (kN/m <sup>3</sup> )	15,774	16,236	16,353	16,108	15,716
Umidade ensaio (%)	10,1	12,2	14,3	16,2	18,3
Massa esp. dos grãos (kN/m <sup>3</sup> )	26,153	26,153	26,153	26,153	26,153
Densidade Seca (kN/m <sup>3</sup> )	14,327	14,471	14,307	13,862	13,285
Índice de vazios	0,83	0,81	0,83	0,89	0,97
Umidade final (%)	18,0	17,3	17,2	17,6	18,7
Grau de saturação final (%)	57,82	56,94	55,25	52,72	51,40

Os ensaios realizados de granulometria, limites de Atterberg, massa específica dos grãos e CBR caracterizaram que os solos previamente escolhidos possuem distintos atributos. Quanto ao grau de saturação final, verificou-se que não atingiu 100% em nenhuma das amostras testadas. Para tanto, verificaram-se pontos no topo, no meio e na base de cada corpo de prova, que não apresentaram divergências significativas de resultados.

## 5. Conclusões e Propostas

Conclui-se após a análise dos resultados, que mesmo com diferentes tipos de solos, tendo características granulométricas e demais índices físicos distintos, os mesmos não apresentaram saturação de 100% ao final do prazo estabelecido em normas. Isso pode ter ocorrido devido ao tempo de imersão em água (96 horas), ocasionalmente muito curto para alguns solos, porém a saturação completa poderá ocorrer com maior tempo de imersão. Devido ao manuseio das amostras para o ensaio de CBR, pode também ter ocorrido perda de umidade, pois retiram-se as amostras do tanque e deixam-nas por 15 minutos antes da penetração na prensa. Nesse intervalo de tempo, verificou-se durante a execução do ensaio que tipicamente escorria água da amostra.

Propõem-se para trabalhos futuros deixar as amostras em imersão em água por mais tempo, verificando a saturação ao longo do tempo até se obter o valor de grau de saturação máximo. Isto calibraria melhor o ensaio para tipos de solos, como os aqui apresentados, alterando eventualmente o tempo de inundação ora recomendado.

Outra proposta é realizar os ensaios de compactação em cilindros duplicados, de forma que se possa retirar a umidade antes e depois do ensaio de CBR, verificando se há alteração da mesma durante o ensaio. Devido à variedade de solos existentes e aos poucos ensaios realizados, os autores consideram necessária a execução de novos ensaios para que se possam confirmar os dados obtidos de grau de saturação.

## 6. Referências

- Bigarella, J.J., Salamuni, R.** *Caracteres Texturais dos Sedimentos da Bacia de Curitiba*. Bol. do Instituto de Geologia da UFPR, n°. 7, Curitiba, 1962
- DNER-ME 093/94.** *Solos, determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas, Norma Rodoviária – Método de Ensaio*. Adaptação da DNER-ME 049/74 à DNER-PRO 101/93. DNER/DrDTc (IPR) 05/04/1994.
- Lopes, J.A.U.** *Notas explicativas da folha geológica de Curitiba*. Bol. Da UFPR, n°. 20, 20p 1966.
- Muratori, A.** *Nota explicativa da folha geológica de Campo Largo*. Bol. UFPR, Curitiba, Instituto de Geologia, 21p, 1966.
- NBR 6457/84.** *Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio Janeiro, 1984.
- NBR 6459/84.** *Solo - Determinação do limite de liquidez*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio Janeiro, 1984.
- NBR 7180/84.** *Solo - Determinação do limite de plasticidade*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio Janeiro, 1984.
- NBR 7181/84.** *Solo – Análise Granulométrica*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio Janeiro, 1984.
- NBR 7182/86.** *Solo – Ensaio de compactação*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio Janeiro, 1986.

**NBR 9895/87.** *Solo – Índice de suporte Califórnia.* ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio Janeiro, 1987.

**Rostirolla, S.P., Vesely, F.F, Freitas, R.C.** *Mapeamento Geológico da Folha de Ponta Grossa.* Escala: 1:100.000. Relatório Final, Mineropar, Curitiba, 2007.