



Caracterização física, química e mineralógica de solos típicos do Noroeste do Paraná para fins de aplicação prática em obras geotécnicas.

Aléxia Trípodi Ladeira

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, alexiatripodi@hotmail.com

Maria Alice Mazurek Sandoli

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, maria_sandoli@hotmail.com

Juliana Azoia Lukiantchuki

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, jalukiantchuki@uem.br

José Renato de Oliveira

Tribunal de Contas do Município do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, jrms070@gmail.com

Jesner Sereni Ildefonso

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, jsildefonso@uem.br

RESUMO: Este trabalho teve como finalidade caracterizar solos típicos do Noroeste do Paraná (PR) através de ensaios físicos, químicos e mineralógicos. A importância prática deste trabalho se deve ao fato de que na construção de diversas obras de engenharia civil, tais como rodovias, barragens, aterros entre outras, ocorre o envolvimento dos solos tanto como material base de sustentação ou como material de construção. Especialmente, para o caso de camadas de base e/ou sub-base de pavimentos os solos lateríticos, que são solos típicos do Noroeste do Paraná (PR), apresentam um excelente comportamento. Assim, considerando a importância do conhecimento das propriedades dos solos, foram realizadas análises de caracterização geotécnica dos solos, os minerais predominantes e o comportamento laterítico de quatro solos típicos da região Noroeste do Paraná. De maneira geral os resultados apresentaram-se condizentes e satisfatórios, permitindo avaliar a viabilidade do emprego desses solos em obras geotécnicas.

PALAVRAS-CHAVE: solos do Noroeste do Paraná, comportamento laterítico, mini-MCT.

1 INTRODUÇÃO

Do ponto de vista da engenharia, os solos são definidos como materiais naturais resultantes do processo de decomposição das rochas. São amplamente utilizados como materiais de construção, sendo que na geotecnia o seu amplo emprego ocorre através da construção de camadas de base e/ou sub-base de pavimentos rodoviários, construção de aterros de barragens, camadas de proteção de aterros sanitários,

nivelamento de terrenos, dentre outras aplicações.

Dias (2007) destaca que os solos lateríticos são solos superficiais, típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, altamente intemperizados e lixiviados, constituídos por diferentes horizontes pedológicos e possuindo predominância das cores vermelha e amarela. A mineralogia desses solos é relativamente simples sendo formado por quartzo e minerais pesados (magnetita,



ilmenita, dentre outros).

O argilomineral predominante é a caulinita que por estar associada com os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio proporciona uma pequena atividade coloidal. A presença característica de óxidos nesses solos proporciona comportamento não plástico, não expansivo e capacidade de troca catiônica desprezível nas condições de pH predominante nos solos. Os óxidos possuem ainda propriedades cimentantes, auxiliando na formação de agregados e concreções lateríticas (Dias, 2007).

Essas características possibilitam o emprego desses solos em camadas de base de pavimentos rodoviários com elevada capacidade de suporte e baixa expansibilidade das argilas lateríticas (Villibor e Nogami, 1995). O desempenho de uma camada compactada depende das condições de compactação (teor de umidade e energia aplicada), da sua composição, propriedades físicas e mineralógicas, assim como da granulometria e da plasticidade que podem comprometer ou viabilizar a sua aplicação na construção de camadas compactadas (Mitchel, 1993).

A avaliação do comportamento laterítico dos solos pode ser realizada através da metodologia MCT (Miniatura Compactada Tropical) proposta por Nogami e Villibor (1981). Este método possibilita identificar e separar solos com comportamento laterítico, sendo considerada uma metodologia apta para esta finalidade pois representa o comportamento dos solos tropicais. Entretanto, os autores destacam que a adaptação e simplificação do método ainda têm sido investigada (Nogami e Villibor, 2003).

Considerando os aspectos discutidos, este trabalho teve como finalidade caracterizar o comportamento de 4 solos típicos da região Noroeste do Paraná (PR) para fins de aplicação prática na construção de camadas de base e/ou sub-base de pavimento. Para isso foram investigadas as propriedades físicas, químicas e

mineralógicas desses solos, assim como foram realizados alguns ensaios convencionais de geotecnia e pavimentos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado utilizando-se 4 solos típicos da Região Noroeste do Paraná (PR), conforme apresentado na Figura 1. As amostras utilizadas foram coletadas nos municípios de Terra Rica, Maringá e Mandaguaçu, sendo que neste último local foram coletadas duas amostras: camada de solo residual jovem e solo residual evoluído.



Figura 1. Região Noroeste do Estado do Paraná, pontos de coleta das amostras.

2.2 Ensaios de caracterização dos materiais

Nessa etapa foram realizados ensaios de análise granulométrica conjunta (NBR 7181), de massa específica dos sólidos (NBR 6508) e de limites de consistência (NBR 7180 e NBR 6459). Além desses ensaios, realizou-se o ensaio de compactação através da energia normal e intermediária (NBR 7182).

2.3 Ensaios de caracterização química e



mineralógica

Nessa etapa foram realizados ensaios de análises químicas e mineralógicas. Primeiramente, determinou-se o pH em solução de água e KCl pelo método do eletrodo combinado imerso em suspensão. A capacidade de troca de cátions (CTC) foi realizada pelo método do teor de matéria orgânica e o teor de matéria orgânica foi determinado pelo método do carbono orgânico. Todos esses ensaios foram realizados no Laboratório AgriSolum segundo metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997).

A análise mineralógica foi realizada através da difração de Raio X na Universidade Federal do Ceará (UFC). Para os ensaios, utilizou-se amostra em pó, que foi preparada passando-se na peneira #200. Utilizou-se o difratômetro X'Pert Pro da Panalytical com radiação Cu Kalfa, 40 kV e 35Ma, com filtro de Ni. Os parâmetros utilizados foram: ângulo (2θ) entre 5 e 80°, passo de 0,02° e velocidade de 3s por passo.

Adicionalmente, foi realizado o ensaio de adsorção de azul de metileno para também avaliar a capacidade de troca catiônica (CTC), identificar os possíveis argilominerais e avaliar o comportamento laterítico das amostras. O método utilizado foi o do papel filtro e realizado segundo a metodologia proposta por Pejon (1992). Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental da UEM e a Figura 2 ilustra o método de adsorção de azul de metileno.

Por fim, realizou-se o ensaio de dosagem físico química que possibilita identificar o teor mínimo de cimento para a estabilização das amostras do solo (Figura 3). O método utilizado nesse experimento é normatizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e foi proposto por Chadda (1971) no 'Central Road Research Institute of India'.



(a) Ensaio em andamento



(b) Avaliação da quantidade ideal de corante pela aura azul clara ou esverdeada

Figura 2. Ensaio de adsorção de azul de metileno.

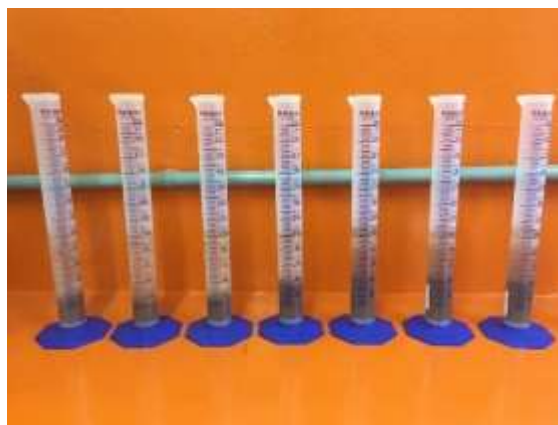


Figura 3. Ensaio de dosagem físico química em andamento.

2.4 Ensaio de Compactação Mini-MCV (Classificação MCT)

Os ensaios foram realizados seguindo a metodologia proposta por Nogami e Villibor (1981), para a avaliação do comportamento laterítico das amostras de solo. Esses foram realizados no Laboratório de Pavimentação



(LAPAV/UEM). A Figura 4 a seguir ilustra a realização do ensaio.



(a) Equipamento Mini-MCV (LAPAV, UEM)



(b) Perda de massa por imersão

Figura 4. Ensaio mini MCV (LAPAV/UEM)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização geotécnica das amostras

A Figura 5 apresenta as curvas granulométricas para os diferentes solos estudados, onde MG_UEM representa o solo de Maringá,

MD_RE representa o solo de Mandaguaçu (residual evoluído), TR representa o solo de Terra Rica e MD_RJ representa o solo de Mandaguaçu (residual jovem).

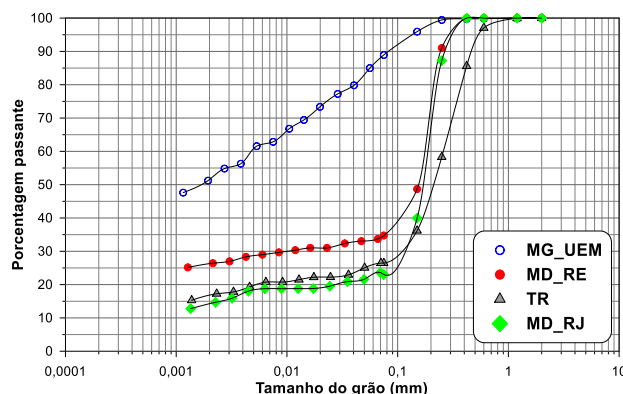


Figura 5. Curva granulométrica dos solos estudados.

A análise dos resultados indicou que a composição granulométrica do solo de Terra Rica e de ambos os solos de Mandaguaçu são semelhantes, possuindo maior fração arenosa. O solo com comportamento mais distinto foi o de Maringá, apresentando maior porcentagem de argila e silte.

3.2 Limites de consistência

A Tabela 1 apresenta os resultados os ensaios de limites de consistência, onde observa-se que o solo de Maringá apresenta o comportamento mais plástico entre todos os solos analisados. A Tabela também apresenta o valor de atividade coloidal (AC).

A Figura 6 apresenta a classificação da fração fina das amostras, de acordo com a Carta de Plasticidade da Classificação Unificada (SUCS). Observa-se que os solos arenosos apresentaram finos classificados como argila siltosa (CL) e o solo de Maringá apresentou finos classificados como silte (MH) ou argila/silte orgânico (OH). Desta forma, a presença de matéria orgânica se torna uma informação de fundamental importância para a correta classificação.



uma das amostras. As Figuras 7, 8 e 9 apresentam resultados típicos do ensaio Mini-MCV.

Tabela 1. Resultados dos limites de consistência.

Amostra	LL	LP	IP	AC
TR	20	11	9	0,53
MG_UEM	61	42	19	0,37
MD_RE	29	16	13	0,50
MD_RJ	31	17	14	1,0

Tabela 2. Parâmetros do ensaio MCT.

Amostra	e'	c'
TR	1,185	0,98
MG_UEM	0,970	1,55
MD_RE	0,960	1,33
MD_RJ	1,310	0,95

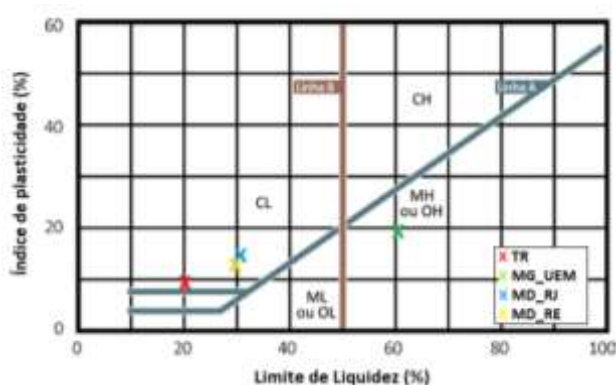


Figura 6. Classificação da fração fina das amostras (SUCS).

Os resultados indicam que para os solos de Terra Rica, Maringá e o solo residual evoluído de Mandaguaçu o comportamento dos argilominerais é de argilas inativas, podendo indicar a presença de caulinita. O solo residual jovem de Mandaguaçu apresentou comportamento de argilas normais, podendo indicar a presença de ilita.

3.3 Ensaios Mini-MCV

Através da classificação MCT, observou que os solos de Maringá e Mandaguaçu evoluído apresentaram comportamento laterítico, enquanto os demais solos não apresentaram comportamento laterítico. A classificação para os solos de Terra Rica, Maringá, Mandaguaçu (residual evoluído) e Mandaguaçu (residual jovem) foi areia não-laterítica (NA'), solo argiloso laterítico (LG'), solo arenoso laterítico (LA') e areia não-laterítica (NA'), respectivamente. A Tabela 2 apresenta os parâmetros do ensaio MCT, obtido para cada

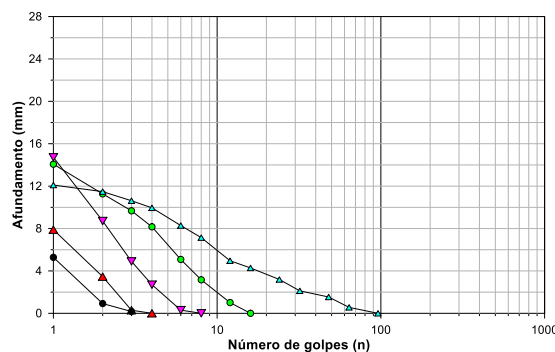


Figura 7. Família de curvas de afundamento.

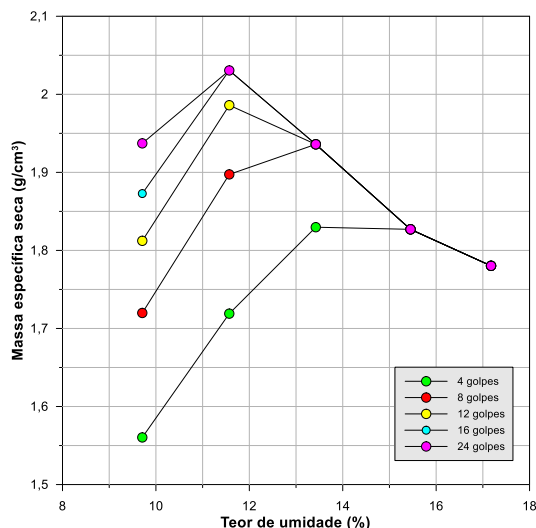


Figura 8. Curvas de compactação.

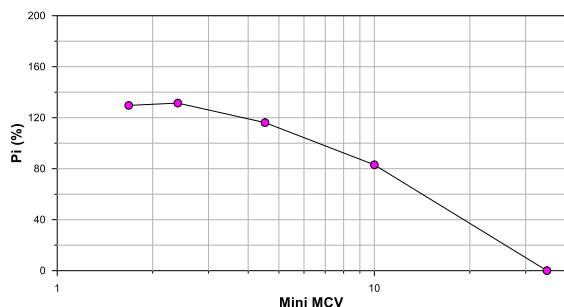


Figura 9. Gráfico de perda de massa por imersão versus Mini-MCV.

3.4 Classificação dos solos

A Tabela 3 a seguir apresenta o resumo dos resultados de caracterização, assim como a classificação dos solos e a massa específica dos sólidos (ρ_s). Os resultados indicaram que para Terra Rica e Mandaguaçu (evoluído e jovem), a predominância é de quartzo, resultado coerente uma vez que nessas amostras predomina a fração arenosa. O solo de Maringá apresentou massa específica superior, indicando que existe grande presença de óxidos de ferro, comportamento também característico deste solo.

Tabela 3. Caracterização e classificação dos solos.

Amostra	TR	MG_UE	MD_RE	MD_RJ
		M		
ρ_s (g/cm ³)	2,730	3,240	2,780	2,780
% passante #200	26,74	88,93	34,72	23,04
% de argila	17	51	26	14
Textural	Areia argilo-siltosa	Argila silto-arenosa	Areia argilo-siltosa	Areia argilo-siltosa
HRB	A-2-4	A-7-5	A-2-6	A-2-6
SUCS	SC	MH	SC	SC
MCT	NA'	LG'	LA'	NA'

Pela classificação SUCS, observou-se que os solos de Terra Rica e Mandaguaçu (evoluído e jovem) apresentaram classificação correspondente a areia argilosa (SC) enquanto que o solo de Maringá apresentou classificação correspondente a silte (MH). Em relação á classificação HRB, observou-se que os solos de Mandaguaçu (evoluído e jovem) apresentaram classificação A-2-6 (comportamento regular para subleito), o solo de Terra Rica, A-2-4 (comportamento bom para subleito) e o solo de Maringá, A-7-5, (comportamento ruim para subleito).

3.5 Compactação dos solos

As Figuras 10 e 11 apresentam as curvas de compactação para as energias normal e intermediária, com exceção da amostra MD_RJ que não foi realizado o ensaio na energia intermediária. A Tabelas 4 apresenta os parâmetros de compactação obtidos através das curvas.

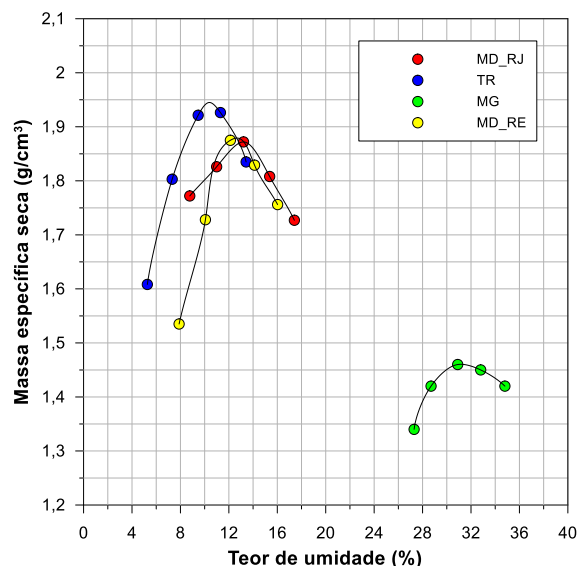


Figura 10. Curvas de compactação (energia normal).

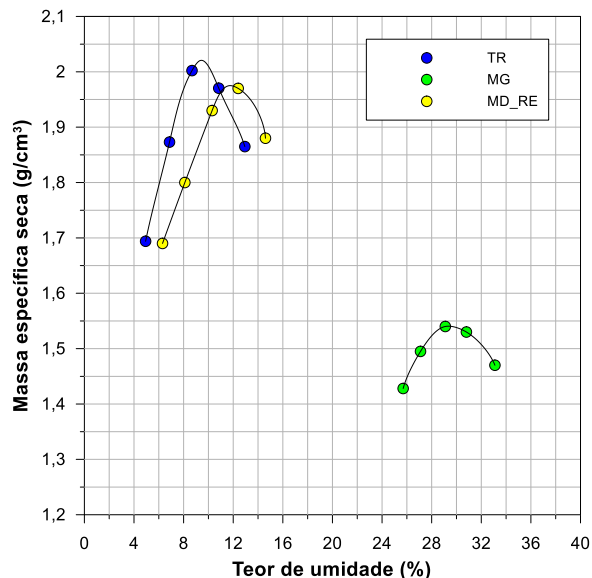


Figura 11. Curvas de compactação (energia intermediária).

Tabela 4. Parâmetros de compactação dos solos.

Amostra	W _{ot} (%)	ρ _d máx (g/cm³)
Energia Normal		
TR	10,4	1,945
MG_UEM	31,0	1,460
MD_RE	12,2	1,875
MD_RJ	13,3	1,870
Energia Intermediária		
TR	9,30	2,020
MG_UEM	29,50	1,540
MD_RE	11,80	1,975
MD_RJ	-	-

3.6 Dosagem físico-química

As Figuras 12, 13, 14 e 15 apresentam as curvas de variação volumétrica com o teor de cimento CII-Z-32 para cada um dos solos estudados.

A Tabela 5 apresenta o teor mínimo de cimento necessário para a estabilização de cada um dos solos analisados. Observa-se que o solo de Terra Rica (arenoso) apresentou um comportamento diferente do esperado, pois trata-se de uma areia argilosa e, portanto, deveria necessitar de um teor de cimento inferior ao solo de Maringá (argila). Recomenda-se a realização novamente desses ensaios, pois fatores como temperatura podem

influenciar no resultado.

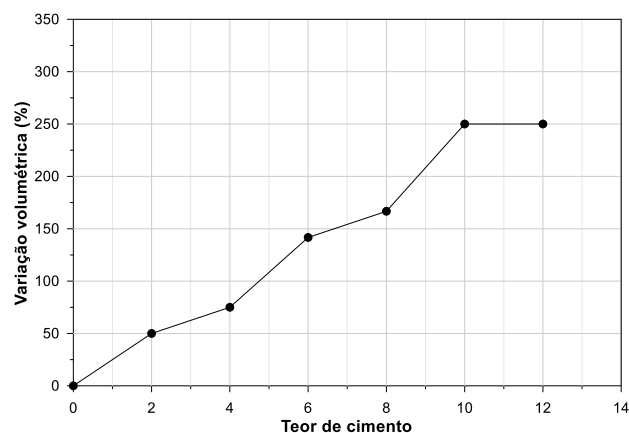


Figura 12. Variação volumétrica versus teor de cimento (Terra Rica).

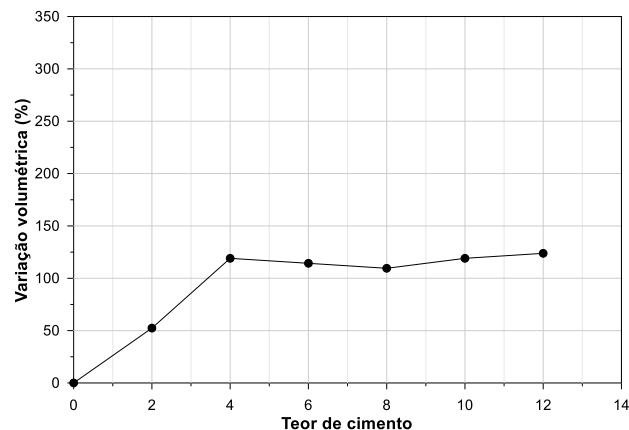


Figura 13. Variação volumétrica versus teor de cimento (Mandaguaçu – residual evoluído).

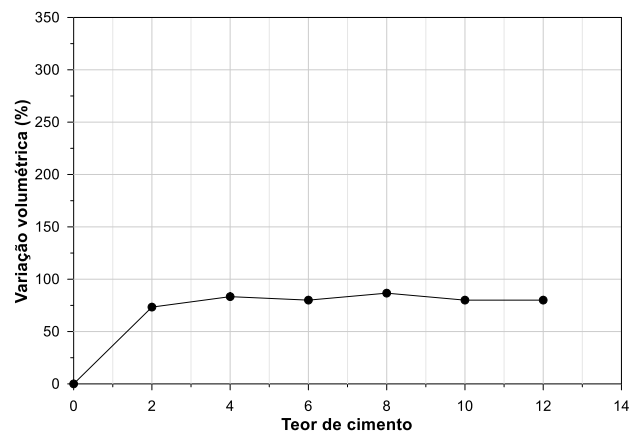




Figura 14. Variação volumétrica versus teor de cimento (Mandaguáçu – residual jovem).

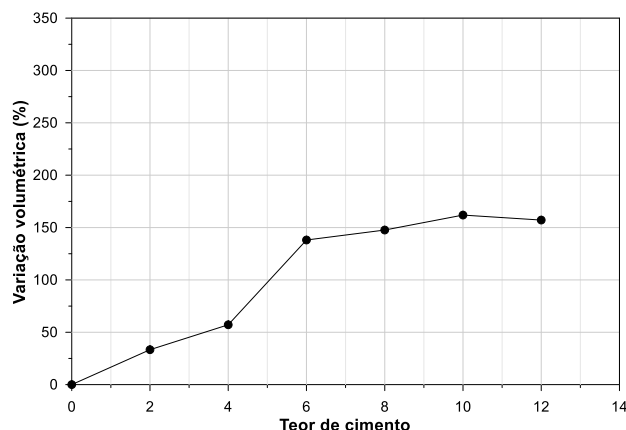


Figura 15. Variação volumétrica versus teor de cimento (Maringá).

Tabela 6. Teor mínimo de cimento.

Amostra	Teor mínimo de cimento (%)
TR	10
MG_UEM	10
MD_RE	5
MD_RJ	8

3.7 Adsorção de azul de metileno

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de adsorção de azul de metileno. Analisando os resultados da CTC, tem-se indícios de que o solo de Terra Rica pode ser composto por caolinita e/ou haloisita. O solo de Maringá (UEM), por haloisita, e/ou ilita, clorita e atapulgita. O solo evoluído de Mandaguáçu, por caolinita e/ou haloisita, ilita e clorita. E por fim, o solo residual jovem de Madaguáçu, por caolinita, haloisita e/ou, ilita e clorita.

Em relação ao comportamento laterítico, tem-se que o valor de Vb for maior que 1,5g/100g de solo, o mesmo não apresenta comportamento laterítico (Pejon, 1992). Desta forma, todos os solos da pesquisa foram classificados como não lateríticos por esse método.

Os valores de Acb quando se apresentam inferiores a 4g/100g o solo é considerado laterítico (Pejon, 1992). Os resultados classificaram todos os solos como não lateríticos. Pelos dois resultados, pode-se perceber a divergência da metodologia MCT, indicando que talvez o método de adsorção de azul de metileno não seja adequado para avaliar o comportamento laterítico dos solos.

Tabela 7. Resultados da adsorção de azul de metileno.

Amostra	CTC	SE	Vb	Acb
TR	8,95	69,85	2,86	4,53
MG_UEM	23,39	182,25	7,46	12,87
MD_RE	11,65	90,96	3,72	5,02
MD_RJ	15,22	118,86	4,86	7,96

onde: CTC é a capacidade de troca catiônica, SE é a superfície específica do material, Vb é o volume solução padronizada de azul de metileno consumida por 100 g de solo, Acb é a atividade da fração argila.

3.8 Análises químicas

3.8.1 Matéria orgânica

A Tabela 8 apresenta o teor de matéria orgânica para os solos estudados, indicando que o solo de Terra Rica tem maior teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, mais Ferro, Cobre e Manganês.

Tabela 8. Teor de matéria orgânica.

Amostra	MO (%)
TR	21,41
MG_UEM	2,44
MD_RE	1,16
MD_RJ	0,65

3.8.2 pH

A Tabela 9 apresenta os valores de pH em água e KCl para os solos estudados, mostrando que de Terra Rica é o menos ácido.

Tabela 9. Valores de pH.

Amostra	pH (H ₂ O)	pH (KCl)
---------	-----------------------	----------



TR	5,6	5,0
MG_UEM	5,0	4,4
MD_RE	4,9	4,2
MD_RJ	4,5	3,8

3.8.3 CTC efetiva

A Tabela 10 apresenta os valores de CTC efetiva para os solos estudados, que diferem dos obtidos pelo método do azul de metileno. Na CTC efetiva não se inclui o H⁺. Pela Tabela, observa-se que o solo de Maringá, assim como no método de adsorção de azul de metileno, apresenta maior capacidade de troca catiônica. O solo de Terra Rica também apresentou um valor mais elevado, possivelmente associado a presença de matéria orgânica presente neste solo.

Tabela 10. Valores de CTC efetiva.

Amostra	CTC efetiva (Cmolc/dm ³)
TR	3,41
MG_UEM	3,80
MD_RE	0,76
MD_RJ	1,36

3.8.4 Difração de Raio X

As Figuras 16 a 19 apresentam os difratogramas de raio X (DRX) obtidos para as diferentes amostras de solo analisadas. Observa-se que para os diferentes solos, a interpretação do DRX indicou a presença de minerais semelhantes. Em outras amostras, ocorreu a predominância de feldspato com presença de argilominerais de baixa atividade.

Os resultados também indicaram a presença de smectita, que deve ser comprovada através de outras análises. Gutierrez (2005) observou minerais semelhantes para o solo de Maringá. Além disso, foi constatada a presença de minerais férricos, tais como hematita e outros. Os resultados apresentados são coerentes, uma vez que solos lateríticos apresentam óxidos de

ferro na sua constituição e argilominerais de baixa atividade.

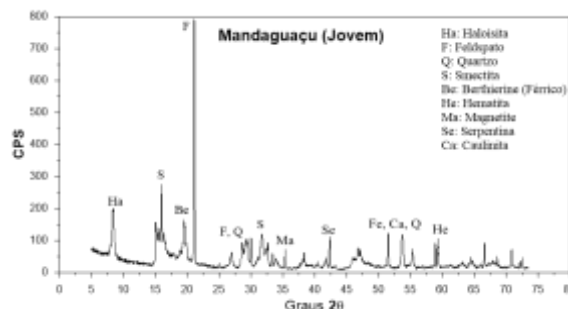


Figura 16. Difratoograma de raio X (Mandaguaçu – Jovem).

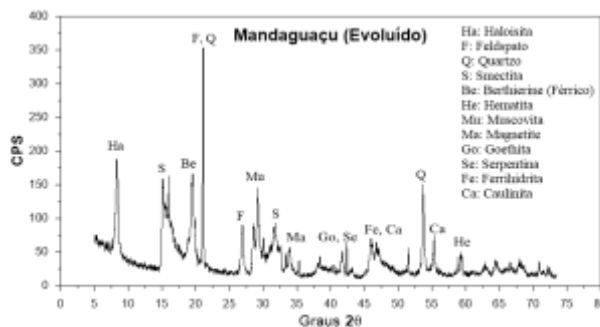


Figura 17. Difratoograma de raio X (Mandaguaçu – Evoluído).

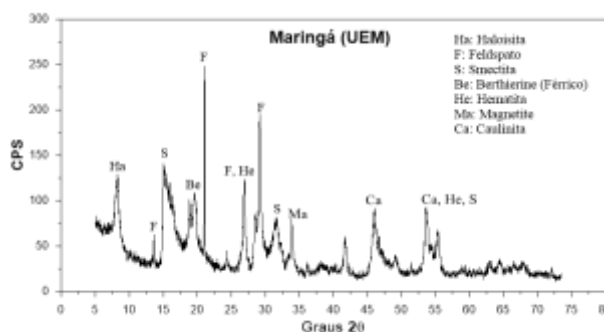


Figura 18. Difratoograma de raio X (Maringá – UEM).

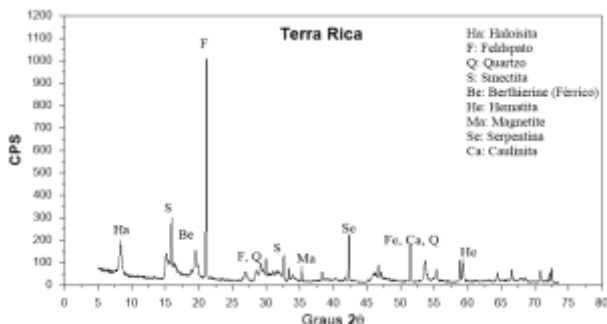


Figura 19. Difratograma de raio X (Terra Rica).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou a caracterização física, química e mineralógica de 4 solos típicos da região Noroeste do Paraná. O objetivo deste trabalho é direcionar a aplicação prática desses materiais na construção de camadas de pavimento.

Os resultados permitiram verificar que a classificação de comportamento laterítico pelo método de adsorção de azul de metileno apresentou resultados divergentes daqueles encontrados na metodologia clássica MCT.

A identificação dos argilominerais pelo método de adsorção de azul de metileno apresentou valores coerentes com aqueles encontrados através do método e difração de raio X.

Em relação aos resultados de dosagem físico-química, observou-se que os solos de Maringá e de Terra Rica obtiveram o mesmo teor mínimo de cimento, equivalente a 10%, enquanto o de Mandaguaçu residual evoluído apresentou teor mínimo de 5% e o de Mandaguaçu residual jovem o teor mínimo de 8%.

As análises químicas permitiram a obtenção de informações importantes e que quando relacionadas apresentam consistência. Quanto ao teor de matéria orgânica, observou-se que o solo de Terra Rica apresentou um teor de matéria orgânica bastante superior aos demais, conferindo, também, maior quantidade de ferro, cobre e manganês a este solo. A capacidade de

troca de cátions (CTC) efetiva do solo de Maringá foi a mais alta, sendo diretamente relacionada com o elevado teor de argila deste solo. Para o solo de Terra Rica, a CTC efetiva também se apresentou elevada, e sendo diretamente relacionada com o elevado teor de matéria orgânica deste solo.

Destaca-se a importância deste tipo de estudo para a completa caracterização do solo e o direcionamento adequado do seu emprego na prática de projetos geotécnicos.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). ABNT NBR 7181: Solo- Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). ABNT NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm- Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). ABNT NBR 7180: Solo- Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). ABNT NBR 6459: Solo- Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). ABNT NBR 7182: Solo-Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986;
- Dias, M. I. (2007) *Estudo de solo tropicais para uso em pavimentação a partir de ensaios triaxiais estáticos*, Dissertação (Mestrado em infra-estrutura de transporte), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 139p.
- Chadda, L,R,A (1971) A rapid method of assessing the cement requirement for the stabilization of soils, *Indian Concrete Journal, Maharashtra*, v, 33, n, 7, p, 298-314
- Gutierrez, N.H.M (2005) *Influência de aspectos estruturais no colapso de solos do norte do Paraná*. Tese (Doutorado em Geotecnia)- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 311p.
- Mitchell, J.K. (1993). *Fundamentals of Soil Behavior*. Wiley Inter Science. University of California, Berkeley. 2 ed, 473p;
- Nogami, J,S; Villibor, D.F. (1995). *Pavimentação de Baixo Custo com Solo Lateríticos*. 213p. Ed. Villibor, São Paulo.



- Nogami, J.S; Villibor, D.F. (1981). Uma Nova classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias, *Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia*, Rio de Janeiro. Anais. COPPE/UFRJ-CNPq- ABMS, Rio de Janeiro, p.30-41.
- Nogami, J.S; Villibor, D.F. (2003). Modificações recentes na classificação geotécnica MCT. *In: 34ª Reunião Anual de Pavimentação*, Campinas, São Paulo, 44-68 p. Ed. Villibor, São Paulo.
- Pejon, O.J. (1992) *Mapeamento geotecnico da folha de piracicaba-sp (escala 1: 100.000): estudo de aspectos metodologicos, de caracterizacao e de apresentacao dos atributos*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos.