UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

INTERPRETAÇÃO GEOPEDOLÓGICA APLICADA A ESTUDOS DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA

Fernando Ximenes de Tavares Salomão

Orientador: Prof. Dr. Sergio Estanislau do Amaral

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Área de Concentração:
Geologia Geral e de Aplicação

São Paulo
1984

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005577

INTERPRETAÇÃO GEOPEDOLÓGICA APLICADA A
ESTUDOS DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA

Fernando Ximenes de Tavares Salomão

Orientador: Prof. Dr. Sergio Estanislau do Amaral

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

nome

ass.

Presidente:

Dr. S.E. do Amaral

Examinadores:

Dr. A. Carvalho

Dr. A.J. Melfi

Handwritten signatures and initials corresponding to the examiners.

São Paulo

1984

Aos técnicos do IPT que atuaram no Projeto Jaíba, durante os anos de 1976 a 1979, cuja dedicação ao trabalho em equipe, e motivação à pesquisa, permitiram a fundamentação teórica e prática, imprescindíveis para o desenvolvimento deste trabalho.

ABSTRACT

Recent Engineering Geology development in Brazil shows the need of a retaking of the geological reasoning joined with other physical environment components in order to better accomplish its important role in Civil Engineering Works. In this way the collaboration of all sciences that act on physical environment should be searched towards Engineering Geology objectives. Synthesis methods and data integration should be developed in order to achieve those goals.

Pedology, a soil science, can significantly contribute to Engineering Geology studies. Although recent technical advances in this science, it has been noticed a lack of integrated studies between soil genesis and geotechnical phenomena.

The present M.Sc. thesis work looks for a methodological proposal applied mainly to Civil Engineering works preliminary steps.

Physical environment was studied in terms of genetically homogeneous soil occurrences related to geotechnical needs.

The first part of the thesis presents some fundamental concepts for the geopedological interpretation. The second part of it presents the results of studies developed in the "Distrito Agroindustrial de Jaíba", the synthesis of the geopedological data interpretation and the Engineering Geology applications.

RESUMO

O estágio atual de desenvolvimento da geologia de Engenharia no Brasil evidencia a necessidade de uma retomada do raciocínio geológico, integrado aos demais componentes do meio físico, de maneira a melhor cumprir o seu importante papel na implantação de Obras de Engenharia Civil. Neste sentido, deve-se buscar a colaboração de todas as ciências responsáveis pelo estudo do meio físico e desenvolver métodos de síntese e de integração de dados, direcionados aos objetivos da Geologia de Engenharia.

A Pedologia, ciência responsável por estudo do solo, tem muito a contribuir para a Geologia de Engenharia. Nota-se entretanto, apesar dos avanços recentes, uma lacuna muito grande em trabalhos de pedologia aplicada à Engenharia Civil, especialmente em se tratando das relações entre a gênese de solos e os fenômenos geotécnicos.

É dentro destas preocupações que se insere esta dissertação de mestrado, procurando, em termos metodológicos, contribuir com uma proposta a ser adotada principalmente numa fase de estudos preliminares de obras de Engenharia Civil. Procurou-se, neste trabalho, interpretar o meio físico de maneira a entender a distribuição de ocorrências geneticamente homogêneas de solos, orientando essa interpretação aos interesses geotécnicos.

Nas partes iniciais desta dissertação foram apre

sêntados alguns conceitos considerados fundamentais pa
ra a interpretação geopedológica, e a seguir, uma expe
riência de trabalho na região compreendida pelo Distri
to Agroindustrial do Jaíba, onde foram sintetizados os
resultados da interpretação geopedológica, e sua aplica
ção para a Geologia de Engenharia.

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar os meus sinceros agradecimentos a todos que direta ou indiretamente serviram de apoio à concretização deste trabalho, em especial ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, através da Divisão de Minas e Geologia Aplicada, que, na pessoa do seu diretor, Geól. Ricardo Fernandes da Silva, concedeu os meios necessários para a efetivação deste trabalho.

Ao Professor Dr. Sergio Estanislau do Amaral pela orientação, revisão crítica e sugestões apresentadas a esta dissertação.

Ao Professor Dr. Adolfo Melfi pela revisão e críticas finais ao texto.

Aos colegas do IPT que atuaram no Projeto Jaíba, cujo trabalho em equipe permitiu a obtenção dos elementos fundamentais para a elaboração desta dissertação. Aos colegas Alvaro Rodrigues dos Santos e Waldir Lopes Ponçano pelo incentivo à escolha e desenvolvimento do tema. Em especial, meus agradecimentos aos colegas Antonio Manoel dos Santos Oliveira, Carlos Geraldo Luz de Freitas, Marcos Tadeu Novaes dos Santos e Ely Borges Frazão, pelas sugestões, apreciações crítica e apoio durante todo desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas Marcio Lucio Gonzaga, Claudemir Antonio de Paula, Alvaro Camargo Kopezynske, e desenhistas

da DMGA pela dedicação nos trabalhos de campo, montagem e no preparo das ilustrações.

Aos coletas do setor de Documentação da DMGA, em especial, à Bibliotecária Maria Solange O. Pereira e Maria Inez do Prado pela ordenação das referências bibliográficas.

À Aradi Jecira da Cruz, pela dedicação nos serviços de datilografia e sugestões na apresentação do texto final.

SUMÁRIO

	P.
1 INTRODUÇÃO	01
2 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	08
2.1 O Solo: Conceitos Básicos Pedogenéticos	08
2.2 Métodos de Trabalho e Materiais Empregados..	23
2.2.1 Roteiro metodológico geral	24
2.2.2 Documentação básica	26
2.2.3 Técnicas adotadas no trabalho de campo ...	28
2.2.4 Técnicas de laboratório	28
3 A INTERPRETAÇÃO GEOPEDOLÓGICA DO DISTRITO AGRO INDUSTRIAL DO JAÍBA, MUNICÍPIO DE MANGA, MG...	31
3.1 Considerações Preliminares	31
3.2 O Meio Geográfico, Geológico e Pedológico ..	34
3.2.1 Clima	34
3.2.2 Vegetação	35
3.2.3 Geologia	36
3.2.4 Geomorfologia	41
3.2.5 Pedologia	43
3.3 As Associações Geopedológicas	74
3.4 A Interpretação Geopedológica	78
3.4.1 Ambiente Geopedológico I: solos desenvolvi dos sobre sedimentos coluvionares	80
3.4.2 Ambiente Geopedológico II: Solos desenvol vidos sobre sedimentos aluvionares	86
4 A APLICAÇÃO PARA A GEOLOGIA DE ENGENHARIA - O ZONEAMENTO GEOTÉCNICO	96
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124

FIGURAS

	P.
1. Localização e acesso do Distrito Agroindustrial do Jaíba	31
2. Mapa geológico e geomorfológico	37
3. Perfil de sondagem em sedimentos aluvionares ..	39
4. Perfil de sondagem em sedimentos coluvionares .	40
5. Mapa pedológico	45
6. Mapa geopedológico aplicado à Geologia de Engenharia (zoneamento geotécnico)	98
7. Variações do Índice de plasticidade em função do teor do solo em elementos finos e da natureza das argilas	107
8. Seção geológico-geotécnica representativa dos sedimentos aluvionares (terraço superior)	111
9. Seção geológico-geotécnica representativa dos sedimentos aluvionares e coluvionares	112

TABELAS

	P.
1. Associação de espécies vegetais naturais com tipos pedológicos	35
2. Características físicas principais do Lato sol Vermelho Escuro distrófico (LEd) obtidas segundo EMBRAPA /EPAMIG/RURALMINAS, 1976 ...	50
3. Características químicas principais do Lato sol Vermelho Escuro distrófico (LEd) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976	51
4. Características físicas principais do Lato sol Vermelho Amarelo distrófico (LVd) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976.	52
5. Características químicas principais do Lato sol Vermelho Amarelo distrófico (LVd) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976.	53
6. Características físicas principais do Cambi sol eutrófico base substrato calcário (Ce ₁) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS , 1976.....	60
7. Características químicas principais do Cambi sol eutrófico fase substrato calcário (Ce ₁) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS , 1976.....	61
8. Características físicas principais do Cambi sol eutrófico fase sedimentos argilosos (Ce ₂) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS , 1976.....	63
9. Características químicas principais do Cambi sol eutrófico fase sedimentos argilosos (Ce ₂) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS , 1976.....	64
10. Características físicas principais do Cambi sol eutrófico A chernozêmico (Ce ₃) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976.....	68

	P.
11. Características químicas principais do Cambi sol eutrófico A chernozêmico (Ce ₃) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976.....	69
12. Características físicas principais das Areias Quartzosas distróficas (AQd) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976.....	71
13. Características químicas principais das Areias Quartzosas distróficas (AQd) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976.....	72
14. Associações Geopedológicas	75
15. Composição dos Argilominerais nos diferentes tipos pedológicos, por difratometria de Raios- X fração inferior a 2 μ	83
16. Composição dos Argilominerais nos diferentes tipos pedológicos, por difratometria de Raios- X fração inferior a 2 μ	84
17. Composição dos Argilominerais nos diferentes tipos pedológicos, por difratometria de Raios- X fração inferior a 2 μ	85
18. Características texturais, mineralógicas e me cânicas das unidades geotécnicas homogêneas..	102
19. Características texturais, mineralógicas e mecânicas das unidades geotécnicas homogêneas	
20. Características geotécnicas e previsão do com portamento das unidades geotécnicas homogê neas	104

FOTOS

P.

1. Paisagem de ocorrência do Latosol Vermelho escuro distrófico (LEd). Notar a grande incidência de "Murundus" dispersamente distribuídos na superfície do terreno. Estrada Mocambinho Janaúba, Km 65. 47
2. Corte mostrando perfil de Latosol Vermelho Amarelo distrófico (LVd). Estrada Mocambinho-Jaíba..... 49
3. Vista geral do relevo em áreas de ocorrência do Latosol Vermelho Amarelo distrófico (LVd) e do Cambisol eutrófico, ambos associados ao terraço superior. O Cambisol eutrófico (Ce_2) distribuiu-se na parte deprimida do terreno. Estrada Mocambinho-Jaíba..... 55
4. Vista geral do relevo em áreas de ocorrência do Latosol Vermelho Escuro distrófico (LEd), e Cambisol eutrófico, associados a sedimentos coluvionares. O Cambisol eutrófico (Ce_1) distribuiu-se na parte deprimida do terreno. Estrada Mocambinho-Jaíba..... 56
5. Trincheira mostrando perfil de Cambisol eutrófico substrato calcário (Ce_1). Notar a parte inferior do perfil, no contato com o substrato, com concentração de concreções de limonita. Estrada Mocambinho/Jaíba 58
6. Trincheira mostrando perfil de Cambisol eutrófico (Ce_1) em transição para Latosol Vermelho Escuro distrófico (LEd). Estrada Mocambinho-Jaíba..... 59
7. Trincheira mostrando perfil de Cambisol eutrófico A chernozêmico (Ce_3). Estrada Mocambinho-Jaíba..... 66

8. Trincheira mostrando perfil de Cambisol eutr^o
fico chernozêmico (Ce₃) em transição para La
tosol Vermelho Escuro distr^ofico (LEd)..... 67
9. Detalhe de uma amostra proveniente do n^ovel in
termediário em perfil de Latosol Amarelo dis
tr^ofico 90
10. Corte mostrando o perfil de Areias Quartzosas
distr^oficas (AQd) distribuídas no terraço su
perior. Jazida de solo utilizado em aterros
do canal principal do Projeto Jaíba..... 93
11. Perfil de Areias Quartzosas distr^oficas (AQd)
do terraço superior. Notar a mudança de colo
ração da parte superior do perfil para a par
te inferior, devido ao aumento no teor de ar
gila. Jazida de solo utilizado em aterros do
canal principal do Projeto Jaíba..... 94

1 INTRODUÇÃO

A aplicação dos conhecimentos geológicos em Engenharia Civil realiza-se através da Geologia Aplicada à Engenharia ou simplesmente Geologia de Engenharia, estando intimamente ligada a duas outras áreas de atuação na Engenharia Civil: Mecânica dos Solos e Mecânica das rochas.

A Mecânica dos Solos (Leinz e Leonardos, 1970) estuda a constituição e propriedades físicas do solo (la to sensu) e dos sedimentos incoerentes com o fim da sua aplicação na Engenharia Civil, enquanto a Mecânica das Rochas "busca a investigação e caracterização das pro priedades físicas e comportamento mecânico das rochas".

O papel do geólogo na Geologia de Engenharia, isto é, a contribuição da Geologia durante as fases de im plantação de uma obra civil, é uma questão que vem, há longo tempo, sendo entre nós debatida, tendo em vista principalmente a sua importância na consolidação da Geo logia de Engenharia. Segundo Oliveira (1981), esta con solidação teve como marco significativo no País a reali zação do 2º Congresso Internacional de Geologia de Engenharia em 1974.

A compreensão histórica da evolução da Geologia de Engenharia no Brasil assegura-nos o entendimento da sua consolidação e tendências de seu futuro desenvolvimento.

Neste particular, Oliveira (1981) apresenta uma análise histórica dessa evolução, onde identifica algumas fases do seu desenvolvimento no Brasil.

A Geologia de Engenharia no Brasil iniciou-se praticamente a partir do ano de 1937 com a instalação da Seção de Geologia e Petrologia no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. Caracterizou-se esta fase inicial pela dedicação de alguns técnicos, destacando-se a figura de Ernesto Pichler, que durante 20 anos introduziu e divulgou importantes trabalhos pioneiros, e que serviram como modelo para o desenvolvimento da Geologia de Engenharia no Brasil. Esta fase é caracterizada (Oliveira, 1981) como de "importação e adaptação do conhecimento da Geologia de Engenharia".

A fase seguinte a se destacar no desenvolvimento da Geologia de Engenharia no Brasil inicia-se nos primeiros anos da década de 60, com a construção de grandes obras hidroelétricas e de estradas, especialmente na região centro-sul do País. Essas obras, financiadas em sua grande maioria por organismos internacionais, tiveram por exigências contratuais a necessária participação do geólogo, desde as etapas iniciais do projeto, até a sua implantação. Essas exigências foram concretizadas tendo em vista importantes acidentes de barragens anteriormente ocorridos, principalmente na Europa, onde fenômenos geológicos se destacaram como causas principais.

É praticamente nesta fase que a Geologia de Engenharia no Brasil assumiu o papel de destaque nas obras de Engenharia Civil, agora não mais caracterizadas por esforços individuais, mas por trabalhos em equipe, consolidando a sua atuação. Por outro lado, quer pela necessidade sentida pelo geólogo de engenharia de uma maior afirmação junto ao engenheiro nos "canteiros da obra, e mesmo nas empresas, quer pela necessidade de entender ou fazer-se entender pelos engenheiros, observou-se durante essa fase de desenvolvimento da Geologia de Engenharia uma intensa preocupação do geólogo em aprofundar os seus conhecimentos em Engenharia Civil. Isso gerou uma tendência clara à especialização do geólogo de engenharia, muito bem caracterizada por Camargo (1976). "Os geólogos passaram a dedicar maior tempo de estudo a disciplinas da Engenharia Civil, tais como mecânica dos solos, resistência dos materiais e materiais de construção, em detrimento da Geologia propriamente dita". Dentro desta mesma linha de raciocínio, Oliveira (1981) assinala que o geólogo de engenharia em "seu trabalho, seguindo a construção das obras, familiarizando-se com as exigências dos projetos de Engenharia Civil e acompanhando o desenvolvimento da Mecânica das Rochas, desenvolveu métodos importantes na forma de enfocar os problemas geotécnicos orientados preferencialmente para a quantificação das feições e fenômenos geológicos". Esta

fase de desenvolvimento da Geologia de Engenharia pode ser caracterizada, portanto, como de diversificação e especialização da atuação do geólogo de engenharia.

Finalmente, a fase atual do desenvolvimento da Geologia de Engenharia no Brasil afigura-se como a retomada do pensamento geológico aplicado à solução dos fenômenos geológico-geotécnicos ocorrentes em obras de Engenharia Civil. Essa tendência é caracterizada por Camargo (1976), como o início de "um movimento espontâneo, por parte dos geólogos que participaram dos primeiros passos da Geologia Aplicada, de retorno à ênfase em Geologia". Há de se citar a oportunidade do trabalho de Santos, A. (1976) apresentado no 1º Congresso da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - "Por menos ensaios e instrumentações e por uma maior observação da natureza", traduzindo com bastante acerto essa nova tendência da Geologia de Engenharia no Brasil.

Este trabalho conclui pela proposição de uma metodologia a ser aplicada em Geologia de Engenharia, que apesar de restrita a estudos de taludes em estradas, dá as orientações básicas a serem adotadas pelo geólogo tendo em vista a aplicação do raciocínio geológico em Engenharia Civil. Assim, salienta esse autor que, "a idéia básica é de chegar à compreensão de um determinado fenômeno, não pela análise particular de cada parâmetro envolvido, mas sim pelo entendimento deste fenômeno

como um todo, ou seja, como resultado da interação de um quadro geológico, definido pelo conjunto de todos os parâmetros intrínsecos ao material, com o tipo de solicitação a que esteja submetido", salienta também que "o fim desejado seria a definição de modelos fenomenológicos que traduzissem o comportamento das diversas situações geológicas diante de diferentes solicitações impostas pela obra". Essas orientações, introduzidas por Santos (1976) em projetos viários, foram aplicados com bastante sucesso em vários estudos desenvolvidos por técnicos do Agrupamento de Geologia Aplicada da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, sendo divulgados principalmente através de trabalhos publicados no 1º e 2º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, realizados respectivamente em 1976 e 1978. Inicialmente a aplicação desse enfoque metodológico foi restrita a estudos de consolidação de taludes rodoviários e ferroviários, sendo posteriormente adaptado a outros projetos de Engenharia Civil.

Sendo esta a tendência atual, ou seja, o entendimento dos fenômenos que regem a evolução geológica do meio físico, não só a Geologia de Engenharia vem reassumindo suas bases científicas na Geologia como buscando a colaboração de outras ciências que se dedicam a compreender o mesmo meio, embora com enfoques diversos.

Neste caráter multidisciplinar do estudo do meio físico destaca-se a Pedologia como uma das ciências que podem enriquecer os trabalhos de Geologia de Engenharia. E neste quadro de intercâmbio científico que deve ser considerada a elaboração da presente dissertação.

Destaca-se ainda como importância na aplicação da Pedologia em estudos de Geologia de Engenharia, o fato de existirem no Brasil predominância de áreas cobertas por solos variados e de espessuras consideráveis.

Entretanto, a aplicação dos conhecimentos pedologicos no Brasil tem sido utilizada mais restritamente com vistas ao aproveitamento dos solos na agricultura, res salvando-se a iniciativa pioneira do Eng^o. Job Shuji Nogami e trabalhos de pesquisa desenvolvidos por alguns Institutos e Universidades, onde se destacam: Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal da Paraíba, Instituto de Pesquisas do Estado de São Paulo, Associação Brasileira dos Produtos de Cal. Nogami (1971) comenta que as particularidades ligadas aos nossos solos, decorrentes principalmente das condições climáticas intertropicais predominantes em nosso País, leva-nos a necessidade de adaptarmos a metodologia dos estudos de solos às nossas condições. Acrescenta também que "o acúmulo de dados adequadamente analisados e correlacionados, permitirá o

controle dos futuros trabalhos rotineiros e possibilitarã a previsão direta do comportamento dos principais tipos genéticos de solos". Dessa maneira, conclui Nogami (1971) que "em futuro não muito remoto, teremos acumulado dados suficientes para o desenvolvimento de uma técnica para o estudo de solo, mais condizente com as peculiaridades geológicas, pedológicas e climáticas prevalecentes em nosso País".

É dentro destas preocupações que se insere esta dissertação de mestrado, procurando contribuir, em termos metodológicos, com uma proposta a ser adotada principalmente numa fase de estudos preliminares. Pretende-se, neste trabalho, indicar os estudos mínimos necessários do meio físico, sua execução e interpretação, de maneira a apontar, numa dada região, a distribuição de ocorrências geneticamente homogêneas de solos, orientado ao estudo de Geologia de Engenharia. A aplicação da proposta metodológica a ser apresentada será ilustrada com trabalhos desenvolvidos no Distrito Agroindustrial do Jaíba, município de Manga, MG, visando estudos geológico-geotécnicos para implantação de projeto de irrigação.

2 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Neste item serão abordados resumidamente alguns aspectos conceituais considerados importantes para a compreensão dos resultados apresentados nesta dissertação de mestrado, e a seguir os métodos de trabalhos utilizados para o seu desenvolvimento.

2.1 O Solo: Conceitos Básicos Pedogenéticos

O solo, dependendo dos objetivos e enfoque científico, tem interpretações variadas. Entre as interpretações mais importantes destacam-se as relacionadas à Engenharia Civil, Agronomia, Geologia e Pedologia.

Para a Engenharia Civil é bastante disseminada no meio técnico a interpretação para o solo como sendo "todo material encontrado na superfície da crosta terrestre escavável por meio de picareta, pá, escavadeira, etc. ou ainda, que perde sua resistência quando em contato prolongado com a água" (Milton Vargas, 1974).

A Agronomia, tendo em vista o interesse no conhecimento do solo para fins agrícolas, restringiu a sua interpretação à camada superficial de terra arável possuidora de vida microbiana.

A Geologia, parte da interpretação do solo como produto do intemperismo físico e químico das rochas. Em função disso, foi a ciência que pela primeira vez procu

rou estudar o solo tendo como objetivo não só a sua aplicabilidade, mas também a sua formação e desenvolvimento.

Na concepção pedológica o solo é entendido como corpos naturais organizados, com distintas naturezas próprias e que evoluem através de estágios de gênese, maturidade e degradação. Essa conceituação foi primeiramente apresentada e desenvolvida na Rússia por Dokuchayev em 1880: Percebeu-se assim que o solo não poderia apenas ser compreendido como simples camada superficial, produto do intemperismo das rochas, mas resultado de uma complexa interação de fatores que incluíam além da rocha, o clima, matéria orgânica, topografia, e o tempo transcorrido sob a ação desses fatores.

A partir dos estudos desenvolvidos por Dokuchayev, a Pedologia rapidamente se consolidou como ciência, passando a envolver especialidades diversas no estudo do solo, onde se destacam: a Química, a Física, a Biologia e a Geologia. Assim, uma série de conceitos pedológicos sobre o solo foi apresentado por renomados pesquisadores. Uma definição de solo bastante completa e atualizada é apresentada por Birkeland (1974): "material natural consistindo-se de camadas ou horizontes de compostos minerais e/ou orgânicos com variadas espessuras, diferindo do material original por propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas e por características biológicas. Os horizontes do solo geralmente

são inconsolidados, mas alguns contêm suficientes porções de sílica, carbonatos, ou óxidos de ferro para cimentá-los".

Uma das grandes contribuições deixadas por Dokuchayev no campo da Pedologia foi em conceituar o solo, não como um simples suporte detrítico mais ou menos rico em substâncias nutritivas, mas como uma entidade natural complexa e sujeita a contínua modificação.

Concluiu Dokuchayev que o desenvolvimento do solo é realizado com base em cinco diferentes fatores: 1) o clima local, condicionando principalmente a ação da água, temperatura, oxigênio e dióxido de carbono; 2) os materiais de origem; 3) os organismos, vegetais e animais; 4) o relevo e a altitude; 5) o tempo transcorrido sob ação desses fatores.

Esses princípios definidos por Dokuchayev contribuíram não só pela identificação de uma nova ciência, a Pedologia, como também orientaram inúmeros pesquisadores na formulação de teorias evolucionistas do solo. A genética e a evolução do solo passam então a representar um papel muito importante na sistemática classificatória dos solos adotada em vários países. Neste sentido, Duchaufour (1977) afirma: "todas as classificações modernas de solos — pelo menos no que diz respeito às unidades superiores — têm base genética, pode-se dizer que elas levam em consideração o processo evolutivo e o

grau de evolução". Ainda, de acordo com Duchaufour, as primeiras classificações pedológicas se apoiavam exclusivamente na "ecologia" dos solos, isto é, nas condições do meio que interferem na sua evolução, com ênfase especial ao clima e a rocha-mãe; com o aprofundamento do conhecimento pedogenético, especialmente quanto aos processos bioquímicos e físico-químicos, a interferência destes processos na evolução dos solos foi sendo considerada nas classificações pedológicas.

De uma maneira bastante simples, Principi (1964) distingue na formação do solo duas fases sucessivas: o intemperismo, representado pelos fenômenos físicos e químicos, que, agindo sobre a rocha conduzem à formação do substrato pedogenético, e alteração pedológica, que corresponde à ação dos processos pedogenéticos, transformando o substrato num verdadeiro solo.

Entretanto, essas duas fases não ocorrem isoladamente, uma vez que ao mesmo tempo que as rochas são submetidas ao intemperismo físico e químico, elementos mais solúveis provenientes dessa alteração dão condições à vida vegetal, fazendo crescer os efeitos sobre o manto de intemperismo e contribuindo para a diferenciação do perfil em horizontes pedológicos.

Dentro deste mesmo raciocínio, Duchaufour (1977) conclui que, como resultado da pedogênese, o solo, inicialmente superficial, se aprofunda progressivamente,

diferenciando estratos sucessivos pela cor, textura e estrutura, e constituindo no conjunto o perfil do solo. "O estudo aprofundado do perfil permite compreender a ação de diversos fatores do meio, de reconstituir a história do solo: as características dos horizontes traduzem a ação de certos processos bioquímicos ou físico-químicos; estes processos, por outro lado, se explicam pelos fatores ecológicos". Duchaufour justifica essa apreciação pela trilogia:

Ecologia —→ Processos Pedogenéticos —→ Caracteres do Perfil.

Essa relação dinâmica observada durante a formação do solo traduz a importância em se conhecer, à luz dos fatores do meio, os processos pedogenéticos fundamentais.

É muito comum encontrarmos termos como podzolização, laterização, carbonatação, salinização, etc., identificados por processos pedogenéticos.

"Segundo a nova maneira de encarar os fenômenos pedogenéticos, não haveria ocorrência de processos específicos na formação de determinado solo. Ao contrário, eles apresentariam uma série de propriedades em comum, resultantes de processos variados que se manifestariam simultaneamente em grande parte, se não em todos os solos" (Moniz, 1972).

Entre os vários autores que apresentaram essa nova concepção dos processos pedogenéticos, destaca-se o trabalho de Simonson (1959), que considera a existência de basicamente cinco processos (adições, transformações, transportes seletivos, remanejos mecânicos e perdas), cada qual compreendendo uma série de mecanismos característicos. A atuação e predominância de um processo sobre o outro depende do meio-ambiente considerado; portanto, qualquer modificação ambiental provoca imediatamente alterações no curso da pedogênese. Simonson considera, ainda, que a atuação combinada dos processos que conduzem ao desenvolvimento pedogenético verifica-se segundo dois estágios diferentes, que se superpõem: a formação ou acumulação do substrato pedogenético e a diferenciação dos horizontes.

Essa mesma concepção de processo pedogenético é, de maneira mais objetiva, apresentada por Duchaufour (1977), que considera a reunião dos diferentes processos em três fundamentais: incorporação da matéria orgânica, alteração física e química das rochas e movimentação da matéria do solo.

Incorporação da Matéria Orgânica

Duchaufour (1977) distingue a existência de duas fases na transformação da matéria orgânica; a primeira resultante de uma evolução mais ou menos rápida da ma

téria orgânica, e a segunda, de uma evolução lenta e progressiva.

A primeira fase de transformação da matéria orgânica é essencialmente condicionada pela natureza da matéria primária (restos vegetais que caem no solo), e pelas condições físico-químicas do meio, relacionadas principalmente ao pH. Por outro lado, a segunda fase está ligada muito mais diretamente a condições externas, em particular do meio climático.

Durante a transformação rápida da matéria orgânica, distingue-se a importância de dois produtos diferentes: fração insolúvel, formada por compostos mais resistentes à decomposição (lignina, celulose e hemicelulose) e fração solúvel constituída por certos glucídios, taninos, e aminoácidos. A fração insolúvel em parte se decompõe progressivamente, dando origem a novos compostos solúveis (neoformados), restando ainda uma outra parcela que se mantém insolúvel, incorporando-se progressivamente ao solo.

A fração solúvel (herdados ou neoformados) é em parte absorvida por microorganismos, mineralizando-se ou integrando-se aos tecidos microbianos, enquanto que as parcelas restantes, mais resistentes à biodegradação microbiana, resultam na edificação de compostos húmicos. Estes compostos solúveis exercem papel fundamental no curso da pedogênese; "em certos casos, eles blo

queiam toda mineralização do nitrogênio e dificultam a humificação, em outros, ao contrário, eles se insolubilizam rapidamente, formam os cimentos húmicos necessários às estruturas e não impedem em hipótese alguma a mineralização concomitante do nitrogênio" (Duchaufour, 1977).

A evolução físico-química lenta da matéria orgânica, também denominada por Duchaufour de "maturação", verifica-se através de um aumento da polimerização das moléculas húmicas, e de um incremento nas ligações com os compostos minerais, principalmente as argilas; o húmus formado adquire um equilíbrio estável dependente principalmente das condições do meio; assim, "a cor, a espessura, a estrutura e a essência das propriedades físico-químicas do horizonte misto A₁ dos perfis dependem deste equilíbrio".

Alteração Física e Química das Rochas

O processo de alteração das rochas, formando a fração mineral do solo, realiza-se através da desintegração física e mecânica e através da alteração química. No primeiro caso observa-se um aumento da superfície específica das partículas minerais, sem modificações na sua estrutura cristalina. No segundo caso ocorre uma alteração dos minerais primários, com formação de minerais secundários, que se constituem no complexo de alteração.

Para o estudo pedogenético, a alteração química dos minerais tem um significado mais destacado, tendo em vista a liberação dos produtos solúveis (base e sílica), cátions menos solúveis (ferro e alumínio, principalmente) e argilo-minerais, fundamentais na evolução do perfil. Entre os vários processos de alteração química (hidrólise, oxidação, redução, hidratação, carbonatação, quelação e troca de íons), a hidrólise é, sem dúvida, a mais importante. Essa importância se manifesta principalmente em regiões de clima tropical e subtropical, como é o caso do nosso País. Ela atua principalmente em rochas cristalinas pela reação de íons H^+ e OH^- , dissociados da água, com os íons de elementos minerais. Sua ação varia consideravelmente segundo as condições do meio, principalmente do clima.

Conhecem-se dois tipos fundamentais de hidrólise: a hidrólise total, caracterizada pela liberação completa dos constituintes dos minerais (sílica, alumínio, bases, etc.) fato comum em regiões de clima tropical úmido; e a hidrólise parcial, que não destrói totalmente a rede cristalina inicial dos minerais, sendo característica de regiões de clima temperado e tropical semi-árido. No primeiro caso as argilas resultantes são principalmente do tipo neoformadas, enquanto que, no segundo caso, resultam principalmente de uma transformação progressiva dos minerais primários.

O fenômeno de hidrólise total, com liberação da sílica e bases na forma de hidróxidos, permite a concentração do hidróxido de alumínio, normalmente insolúvel, formando minerais do tipo gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Esse processo de alteração é denominado de alitização por Harrassowitz (1926) (citado por Melfi e Pedro, 1977).

Por outro lado, na hidrólise parcial a dessilicificação do meio é incompleta, permitindo que parte da sílica liberada reaja com o alumínio, formando argilo-minerais (hidrossilicatos aluminosos); esse processo é denominado sialitização. Neste caso, "a eliminação dos cátions básicos pode ser mais ou menos elevada" (Melfi e Pedro, 1977); duas condições, dependendo dos minerais em alteração e das condições do meio (drenagem principalmente), podem ocorrer:

- a) eliminação bastante pronunciada dos cátions básicos, permitindo a formação de argilo-minerais do tipo 1:1 (caulinita);
- b) eliminação parcial dos cátions básicos, permitindo a formação de argilo-minerais do tipo 2:1 (esmectita).

O primeiro caso foi denominado por Pedro (1966) de monossialitização e o segundo de bissialitização.

Melfi e Pedro (1978) apresentam uma síntese dos diferentes ambientes geoquímicos de solos encontrados no

Brasil; este trabalho, de fundamental importância para estudos de natureza pedogenética dos solos brasileiros, caracteriza as diferentes formas de hidrólise e sua repartição geográfica.

Movimentos da Matéria no Solo

A importância deste processo pedogenético é traduzida não só pela diferenciação e evolução do perfil em profundidade, como também pela diferenciação lateral dos tipos pedológicos. Sua efetivação depende fundamentalmente da água gravitacional e ascensional, mais ou menos enriquecida de certos elementos coloidais, seja em solução, seja sob a forma de suspensão.

Duchaufour (1977) denomina esse processo de migração e considera a existência de dois tipos básicos:

- a) migrações descendentes (vertical e oblíqua);
- b) migrações ascendentes.

Na migração descendente uma parte dos elementos são transportados para fora do perfil e outra parte é redistribuída internamente no perfil, permitindo a diferenciação do perfil nos horizontes eluviais (horizonte A) e horizonte iluviais (horizonte B).

A migração descendente realiza-se por certos mecanismos que dependem fundamentalmente do tipo de elemen

to mobilizado, distinguindo-se, assim, três formas de migração:

a) *Lixiviação*: migração de sais solúveis, representa dos principalmente pela sílica e cátions alcalinos e alcalinos terrosos (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}). os demais elementos são dificilmente eliminados sob a forma de sais; entre as exceções incluem-se o Mn^{++} e o Fe^{++} lixivados em meio redutor, e o Al^{+++} em meio muito ácido.

A lixiviação progressiva do solo, eliminando os cátions alcalinos e alcalinos terrosos, promove a sua acidificação. Observa-se durante esse processo que os íons monovalentes (Na^+ e K^+) são mais facilmente eliminados que os íons bivalentes (Mg^{++} e Ca^{++}). Por outro lado, o sódio é o mais móvel de todos os cátions básicos; somente em condições de má drenagem interna e em condições de clima árido, o sódio pode acumular-se nos horizontes superiores do perfil. O potássio é também facilmente lixiviado, mas na presença de argilas micáceas, parte dele pode ser adsorvido, permanecendo assim em condições de ser permutado por outros íons. Entre os cátions básicos bivalentes o magnésio é mais móvel que o cálcio.

O clima exerce papel fundamental na remoção ou precipitação dos cátions alcalinos e alcalinos terrosos;

assim, enquanto em regiões áridas as bases se acumulam em superfície ou nos horizontes superiores, em regiões de clima úmido, ao contrário, as bases são lixiviadas em profundidades do perfil ou para fora do perfil. Em ambos os casos o comportamento do lençol freático tem uma interferência substancial na remoção e na precipitação desses elementos.

A lixiviação do cálcio depende fundamentalmente da presença do CO_2 dissolvido na água de chuva, provocando a dissolução dos carbonatos e formando bicarbonato de cálcio que é removido em solução. A velocidade do processo é portanto função principalmente das precipitações pluviométricas.

A sílica migra em solução na forma de ácido silícico, e sua intensidade depende do pH e da solubilidade do alumínio. A precipitação do alumínio provoca uma certa adsorção de sílica solúvel por este elemento, promovendo a neoformação da argila. Portanto, "a quantidade de sílica restante em solução está, de certa forma, em relação inversa com a quantidade de argila neoformada no meio" (Duchaufour, 1977).

b) *Queluviação*: migração de certos elementos, como o ferro e o alumínio, sob a forma de complexos organometálicos ou quelatos.

A migração dos complexos organo-metálicos depende principalmente da relação molecular cátion/anion; trabalhos baseados em experimentos de laboratório, como o apresentado por Schmitzer (1969), mostra que a solubilidade do complexo a um dado pH aumenta quando se diminui a relação cátion/anion do meio. Por outro lado, o pH e Eh do meio têm uma interferência bastante significativa na migração dos complexos organo-metálicos. Schmitzer e Skinner (1962) através de estudos de pedologia experimental, mostraram que a solubilidade dos complexos organo-metálicos varia com diferentes valores de pH: "para o ferro, esta solubilidade é mais forte de pH 3 até pH 5; se o pH permanece constante, a solubilidade decresce quando a relação cátion/anion aumenta" (Duchaufour, 1977).

O potencial de oxido-redução interfere de maneira fundamental na mobilidade dos cátions metálicos ferro e manganês. O ferro e o manganês manifesta-se na natureza nas formas reduzidas (bivalentes, Fe^{2+} , Mn^{2+}) e oxidadas (polivalentes, Fe^{3+} , Mn^{3+} , Mn^{4+}). Estes elementos, quando se apresentam na forma reduzida, adquirem relativa mobilidade, enquanto que na forma oxidada são pouco móveis. O Eh e pH condicionam a redução ou oxidação desses elementos, sendo portanto fundamentais na sua mobilidade.

- c) "*Lessivage*": migração de partícula em suspensão (argilas principalmente); este processo, permite a acumulação de argila no horizonte subjacente (horizonte B), formando o horizonte conhecido como B textural (Bt).

A migração da argila é fenômeno complexo, que depende em parte das condições do meio (pH, presença de cátions livres Fe^{3+} e Al^{3+} , e presença de compostos orgânicos solúveis) e da natureza das argilas. Em meio ácido, os cátions livres Fe^{3+} e Al^{3+} adquirem poder floculante, reduzindo ao mínimo a mobilidade das argilas. A matéria orgânica interfere na mobilidade das argilas de maneira indireta, pela complexação dos cátions floculantes Fe^{3+} e Al^{3+} ; esta complexação permite a remoção desses cátions neutralizando a sua ação na imobilização das argilas (Gombeer e D'Hoore, 1971, citado por Duchaufour, 1977). De maneira direta a matéria orgânica solúvel neutraliza a ação floculante dos cátions livres, criando em torno das partículas isoladas da argila um invólucro hidrófilo, que aumenta as cargas negativas e forma uma barreira protetora em relação aos cátions floculantes com carga positiva (Souchier, 1971; Dixit et al. 1975, citado por Duchaufour, 1977). As argilas de dimensões menores (montmorillonitas) são as que apresentam maior mobilidade (Blume, 1964); são praticamente as

únicas que migram em meio pouco ácido; as argilas micáceas (ilitas e vermiculitas) apresentam certa mobilidade, mas são contidas pela presença de íons fêrricos e aluminosos que diminuem as suas cargas negativas; finalmente, argilas de grandes dimensões e pouco ativas (caolinitas) são as que apresentam menor mobilidade, sendo facilmente imobilizadas por íons fêrricos.

As migrações ascendentes são bem mais raras que as descendentes, ocorrendo sob certas condições particulares do meio ambiente. Estas condições resumem-se praticamente no fenômeno da capilaridade, na ação indireta da vegetação, e na ascensão do lençol freático; no primeiro caso, sais solúveis, pela elevação capilar da água, são transportados das partes inferiores para a superfície do perfil, onde se precipitam; no segundo caso, espécies vegetais de raízes profundas, absorvendo elementos nutritivos das partes inferiores do perfil, mobilizam esses elementos para a superfície do terreno, que se incorporam ao solo pela humificação; o terceiro caso é função do regime hídrico local e da permeabilidade do terreno, sendo transportados elementos solúveis e partículas em suspensão.

2.2 Métodos de Trabalho e Materiais Empregados

Os elementos de estudo abordados nesta dissertação de mestrado estão fundamentados em trabalhos realizados

pelo IPT no distrito agroindustrial de Jaíba no Estado de Minas Gerais.

Com base nessa experiência de trabalho foi desenvolvida uma metodologia aplicada a Projetos de Engenharia Civil, que operacionalmente permite, de modo relativamente simples, interpretar o meio físico e obter dados geotécnicos fundamentais ao planejamento e implantação de técnicas e obras visando ao aproveitamento múltiplo de recursos de solos.

2.2.1 Roteiro metodológico geral

Esquemáticamente a metodologia utilizada pode ser compreendida da seguinte maneira:

Conforme o quadro esquemático apresentado, o roteiro metodológico adotado constou basicamente de três etapas de trabalho.

Inicialmente realizou-se uma coleta e análise de dados existentes sobre o meio físico visando uma interpretação preliminar. Nessa etapa, procurou-se trabalhar com mapas numa mesma escala, para facilitar as correlações entre os elementos que constituem a paisagem. Foi de fundamental importância nesta etapa a interpretação de fotografias aéreas, que forneceu os dados básicos de geologia, geomorfologia, solos e vegetação.

Em seguida, procedeu-se um levantamento de campo, especialmente voltado para a definição das correlações entre geologia, geomorfologia e pedologia. Procurou-se nesse levantamento, observar todas as unidades litológicas e sistemas de relevo e definir os diferentes tipos de solos correlacionados ao substrato geológico e à situação geomorfológica, estabelecendo-se um modelo hipotético de evolução da paisagem com base no raciocínio pedogenético. Assim, necessariamente os fatores e processos de formação dos solos foram avaliados e definidos, constituindo na interpretação geopedológica.

Complementando essas observações de campo foram realizadas algumas trincheiras e sondagens a trado, nos vãrios tipos pedológicos e nas diferentes situações topo

gráficas. Essas trincheiras e sondagens a trado, sempre que possíveis, escavadas até o substrato pedológico, permitiram a descrição pormenorizada dos diferentes perfis de solos e coleta de amostras visando ensaios de laboratório. Esses ensaios de laboratório tiveram como objetivos básicos a caracterização física e química dos diferentes horizontes pedológicos e a caracterização geotécnica fundamental, representada por ensaios de granulometria e índices de consistência.

Finalmente, com base na elaboração e análise dos dados coletados nas etapas anteriores, procurou-se apresentar uma interpretação evolutiva dos diferentes solos. Essa interpretação representa sucintamente os diversos ambientes de desenvolvimento pedológico existentes na região do Jaíba, definidos com base principalmente na correlação entre o substrato geológico, relevo, vegetação, clima e tipos pedológicos. Cada ambiente de desenvolvimento pedológico reúne portanto solos pedogeneticamente semelhantes, que interpretados para as finalidades da Geologia de Engenharia, resultam em zoneamento geotécnico.

2.2.2 Documentação básica

Para a realização dos trabalhos visando a síntese e interpretação preliminar do meio físico foram utilizados os seguintes elementos:

. Cartas topográficas, escala 1:50 000, com equidistância das curvas de nível de 10 em 10 metros, executadas pelo Serviço Aerofotogramétrico Cruzeiro do Sul, ano 1964/1966;

. Cartas topográficas, escala 1:100 000, com equidistância das curvas de nível de 40 em 40 metros, executadas pela Diretoria do Serviço Geográfico. Ministério do Exército, ano de 1971;

. Fotografias aéreas, escala 1:20 000, voo realizado pela base aérea de Recife no ano de 1968;

. Levantamento pedológico da região obtido através da publicação — "Levantamento de Reconhecimento com detalhes dos solos do Distrito Agro-Industrial de Jaíba — Minas Gerais", elaborado pela EMBRAPA-EPAMIG-RURALMINAS, com mapa pedológico na escala 1:125 000, de 1976;

. Relatório IPT nº 10 293 — "Reconhecimento Geológico de Superfície da área de interesse à implantação do Projeto de Irrigação do Distrito Agro-Industrial de Jaíba, Município de Manga (MG)", emitido em 1977;

. Relatório IPT nº 12 704 - "Estudos geológico-geotécnicos da área de domínio do canal Principal 2 - 30 000 ha, do Projeto Jaíba (MG)", emitido em 1979.

2.2.3 Técnicas adotadas no trabalho de campo

Partindo-se da síntese e interpretação preliminar do meio físico, elaborado conforme descrito no item 2.2.1, as atividades de campo tiveram como principal objetivo caracterizar, através de observações pontuais os aspectos de geologia, relevo, vegetação e solos.

A coleta de amostras para ensaios em laboratório e descrições dos perfis foram realizadas através de trincheiras e trados, escavados preferencialmente até o substrato pedológico. Foram descritos e amostrados 33 perfis de solos representativos da região, totalizando 174 amostras.

Os perfis foram descritos conforme especificações do "Manual de Métodos de Trabalho de Campo", da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo (Lemos e Santos, 1973).

2.2.4 Técnicas de laboratório

As amostras coletadas foram analisadas nos laboratórios do IPT em São Paulo, visando a realização dos seguintes ensaios:

- a) caracterização geotécnica: umidade natural, limite de consistência, densidade dos grãos, granulometria;

- b) compactação: umidade ótima e densidade seca máxima;
- c) mineralogia da argila, em termos quantitativos e qualitativos.

Os dados referentes às análises físicas (densidade aparente, densidade real, dispersão da argila, equivalente de umidade e condutividade elétrica), e as análises químicas (pH, cátions trocáveis, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , etc), dos diferentes tipos pedológicos, foram obtidos com base em ensaios realizados pela EMBRAPA - EPAMIG - RURALMINAS, cujos resultados e técnicas utilizadas foram apresentados no "Levantamento de reconhecimento com detalhe dos solos do Distrito Agroindustrial de Jaíba - Minas Gerais" (1976).

Os ensaios geotécnicos de caracterização e compactação foram realizados de acordo com as especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT. Os ensaios de caracterização foram preparados conforme a norma MB-27, e ensaiadas de acordo com as normas MB-30 (determinação do Limite de Liquidez), MB-31 (determinação do Limite de Plasticidade), MB-32 (análise granulométrica) e MB-33 (ensaio normal de compactação).

Os ensaios de mineralogia de argila foram realizados por difratometria de raio-X, após preparação das amostras de solo e isolamento da fração argila ($< 2,4$). Após interpretação dos difratogramas procedeu-se a semi

-quantificação dos minerais presentes, conforme o método do "padrão interno de ilita", proposto por Johns, Grim e Bradley (1954, in G. Brawn, "The X-ray identification and Crystal Structures of Clay Minerals", p. 501, Mineralogical Society of London, 1972).

3 A INTERPRETAÇÃO GEOPEDOLÓGICA DO DISTRITO AGROINDUSTRIAL DO JAÍBA, MUNICÍPIO DE MANGA, M.G.

3.1 Considerações Preliminares

O Distrito Agroindustrial do Jaíba, com cerca de 230 mil hectares, localiza-se no município de Manga, M.G., entre os rios São Francisco e Verde (FIGURA 1).

FIGURA 1 - Localização e acesso do Distrito Agroindustrial do Jaíba.

O Governo Federal, em conjunto com o Governo do Estado de Minas Gerais, vem desenvolvendo na região um programa de irrigação que pretende numa primeira etapa atingir aproximadamente 100 000 hectares. O sistema de irrigação a ser adotado é por gravidade, e exigirá a adução de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ de água proveniente do rio São Francisco.

A área a ser irrigada estende-se por três terraços, dispostos em níveis diferentes, como degraus, o que condicionou a concepção do projeto através de adução de água por canais principais, secundários e terciários, que se desenvolverão ao longo dos terraços, e por estações de bombeamento para vencer os desníveis topográficos entre os terraços.

Técnicos do IPT, a convite da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco, CODEVASF, atuaram na área durante os anos de 1976 a 1979.

Ao iniciar-se a participação técnica do IPT no Distrito Agroindustrial do Jaíba, a CODEVASF com base nos conhecimentos e estudos anteriores da área, já havia definido a concepção geral do projeto, onde se incluía a locação definitiva do canal de adução, situado no primeiro terraço (terraço inferior), o local da estação de bombeamento nº 1, entre o primeiro e segundo terraços, e o traçado do canal principal nº 2, localizado no segundo terraço (terraço intermediário). Haviam sido ini

ciadas também as escavações do canal principal nº 1, cujas dificuldades apresentadas levaram a CODEVASF a solicitar a participação do IPT no projeto. Essas difficuldades evidenciavam a necessidade premente de um maior conhecimento do meio físico da área envolvida pelo projecto, de maneira a orientar as investigações geotécnicas que se faziam necessárias.

Na oportunidade os elementos disponíveis sobre a região de interesse para o projeto resumiam-se em fotografias aéreas, plantas topográficas e levantamento pedológico efetuado pela EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, cujo mapa foi apresentado em escala 1:125 000.

Procurou-se então, com base na análise dos dados existentes, fotointerpretação e reconhecimentos de campo, interpretar o meio físico da região de maneira a estabelecer as orientações necessárias ao desenvolvimento dos projetos, onde em especial se destacaram:

- a) investigações geológico-geotécnicas ao longo do canal principal nº 1 e no local da estação de bombeamento nº 1, otimizando o projeto e orientando sua construção;
- b) investigações geológico-geotécnicas para a escolha de alternativa de traçado para o canal principal nº 2 e para os locais das estações de bombeamento nº 2 e 3;

c) estudos de seleção de materiais de construção (áreas de "empréstimo", principalmente).

A interpretação do meio físico, tendo como referência inicial o mapa de solos em escala 1:125 000, foi substantiada nas correlações entre os elementos de pedologia, geologia e geomorfologia, fornecendo em pouco tempo e num custo relativamente baixo, os dados básicos necessários para o detalhamento dos projetos.

3.2 O Meio Geográfico, Geológico e Pedológico

3.2.1 Clima

O clima do Distrito Agroindustrial do Jaíba, é definido de acordo com a classificação de Koeppen como do tipo Aw (Galvão e Nimer, 1965). O tipo climático Aw é caracterizado como tropical de savana, apresentando a região período chuvoso de novembro até abril, e os meses restantes de maio a outubro praticamente secos. A precipitação média anual é de 876,8 mm, sendo os meses de junho a agosto os mais secos do ano.

O período chuvoso corresponde à época mais quente do ano, sendo outubro o mês onde as temperaturas atingem valores mais elevados, e o mês de julho o mais frio. A média de temperatura da região é de 24°C com variação muito pequena durante o ano, onde a diferença entre o

mês mais quente e mais frio é menor que 5°C (EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976).

3.2.2 Vegetação

Os tipos vegetais encontrados na região estudada foram agrupados em 3 formações principais: florestas; caatingas e campos de várzeas (EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976). Constatou-se uma associação bastante representativa entre as espécies vegetais dominantes e os tipos pedológicos, conforme pode ser observado na TABELA 1.

Formação Vegetal	Espécies vegetais predominantes	Tipologia Pedológica
Floresta	Perenifólia	Solos aluviais eutróficos textura argilosa.
	Subcaducifólia	Solos aluviais eutróficos textura arenosa.
	Caducifólia	Cambisol Eutrófico, Latosol Vermelho Escuro eutrófico, Latosol Vermelho Escuro distrófico, solos Aluviais eutróficos textura média

Floresta/Caatinga	Caducifólia e Caatinga hipoxerófila	Latosol Vermelho Amarelo eutrófico, Latosol Vermelho Amarelo distrófico.
Caatinga	Hipoxerófila	Areais Quartzosas distróficas
	Hiperxerófila	Solos Litólicos com rochas aflorantes.
Campos de Várzea	Herbáceos	Solos Aluviais eutróficos mal drenados

TABELA 1: Associação de Espécies Vegetais Naturais com Tipos Pedológicos

3.2.3 Geologia

A geologia da região estudada pode ser facilmente visualizada através da FIGURA 2. Nota-se assim, sua localização no Craton do São Francisco em área de ocorrência de rochas não dobradas do grupo Bambuí de idade Pré-Cambriana Superior, segundo Amaral e Kawashita (1967).

Este grupo compreende diversas formações constituídas por rochas clásticas e carbonáticas, sendo estas últimas, constituintes da Formação Sete Lagoas (Oliveira, 1967) as que o representam predominantemente na área. Esta formação apresenta na área intercalações milimétricas de siltitos/argilitos. A rocha calcária, normalmente de coloração cinza escura, apresenta-se compacta, microcristalina e às vezes oolítica. A coloração escura

Fig. 2 - Mapa Geológico e Geomorfológico

relaciona-se à presença de sulfetos de ferro finamente dispersos e de substâncias orgânicas. A sua composição mineralógica, conforme apresentada por Rodrigues e Silva (1982), demonstra uma "predominância de carbonato de cálcio superior a 90%, seguido por pequenas quantidades de magnésio (2%), teores muito baixos de silicatos de alumínio (1,5% de argilas) e quartzo, além de 2% de carbono e pequenas quantidades de sulfetos, que juntamente com a matéria orgânica dão a cor preta da rocha". Observa-se com frequência a presença na rocha de veios de calcita recristalizada, de coloração branca ou preta, preenchendo fraturas. Nota-se também a presença nesses veios de calcita de material grafitoso e níveis de pirita.

Acima do Grupo Bambuí, fora da área estudada, ocorrem sedimentos continentais que compõem a Formação Urucuia, depositadas durante o período Cretácio. A Formação Urucuia ocorre na margem direita ao sul da área de interesse e na margem esquerda do Rio São Francisco.

Durante o Quaternário depositaram-se aluviões sobre as rochas do embasamento, que constituem a Formação das Vazantes. Ligando porções topograficamente mais elevadas com esses depósitos aluvionares observa-se a presença de depósitos coluvionares, representadas por um "glacis". As Figuras nºs 3 e 4 apresentam perfis de son

PROFUNDIDADE (m)	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	PERFIL	OBSERVAÇÕES
10,50	AREIA FINA E MÉDIA, POUCO ARGILO — SILTOSA, COM RAÍZES, COR MARROM AMARELADO CLARO.		RARAS CONCREÇÕES ARREDONDADAS E MILIMÉTRICAS DE Fe-Mn.
15,00	AREIA FINA A MÉDIA, POUCO ARGILO-SILTOSA, COR MARROM AMARELADO.
22,00	AREIA FINA A MÉDIA, POUCO ARGILO-SILTOSA, A PRATICAMENTE PURA, COR MARROM AMARELADO
26,00	ARGILA PRATICAMENTE PURA, COM FRAGMENTOS MILIMÉTRICOS DE CALCÁRIO ALTERADO, COR CINZA CLARO
32,20 32,40	AREIA FINA A GROSSA, POUCO ARGILO — SILTOSA, COR MARROM AMARELADO		NÍVEL MUITO RESISTENTE DE CONCENTRAÇÃO DE Fe-Mn COR PRETO
40,35	BLOCOS DE CALCÁRIO ENVOLVIDOS POR MATRIZ ARGILOSA, VAZIOS PREENCHIDOS POR ARGILA DE ALTERAÇÃO ENTRE 41,30 E 42,00m COR CINZA.		PERDA DE ÁGUA DE CIRCULAÇÃO
42,00			
43,00	CALCÁRIO POUCO ALTERADO, COM RE-CRISTALIZAÇÃO DE CALCITA, COR BRANCO ACINZENTADO		DISSOLUÇÕES PREENCHIDAS POR ARGILA E RECRISTALIZAÇÃO DE CALCITA
50,00	CALCÁRIO MUITO ALTERADO, COR CINZA ESBRANQUIÇADO.		PERDA DE ÁGUA DE CIRCULAÇÃO

Fig. 3 — Perfil de sondagem em sedimentos aluvionares

PROFUNDIDADE (m)	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	PERFIL	OBSERVAÇÕES
2,00	ARGILA MEDIANAMENTE, SILTO-ARENOSA COM POUCAS RAIZES COR MARROM AVERMELHADO.		CONCREÇÕES LATERÍTICAS ARREDONDADAS E MILIMÉTRICAS
3,00	ARGILA POUCA A MEDIANAMENTE SILTO-ARENOSA COM POUCAS RAIZES DE COR MARROM AMARELADA		
7,00	ARGILA PRATICAMENTE PURA, COR VARIEGADA, COM FRAGMENTOS MILIMÉTRICOS DE CALCÁRIO MUITO ALTERADO		RARAS CONCREÇÕES LATERÍTICAS ARREDONDADAS E MILIMÉTRICAS
10,06	ARGILA PRATICAMENTE PURA, COR MARROM AMARELADO A CINZA CLARO, COM FRAGMENTOS MILIMÉTRICOS DE CALCÁRIO MUITO ALTERADO		DE 10,00m A 10,06m APRESENTA FRAGMENTOS CENTIMÉTRICOS DE CALCÁRIO PRATICAMENTE SÃO E ARGILA
11,65	FOLHELHO COR CINZA CLARO.		VAZIO - TRECHO DE DISSOLUÇÃO TOTAL DA ROCHA.
14,77	CALCÁRIO ALTERADO, COR CINZA CLARO A ESCURO, COM FEIÇÕES CARACTERÍSTICAS DE DISSOLUÇÃO		
15,26			O FOLHELHO POSSUI INTERCALAÇÕES MILIMÉTRICAS A CENTIMÉTRICAS DE CALCÁRIO.
15,65			
16,72	FOLHELHO COR MARROM AMARELADO		O CALCÁRIO E O FOLHELHO POSSUEM VEIOS MILIMÉTRICOS A CENTIMÉTRICOS DE CALCITA.
17,60	CALCÁRIO PRATICAMENTE SÃO COR CINZA ESCURO		
18,35	FOLHELHO COR MARROM AMARELADO		
19,45	CALCÁRIO PRATICAMENTE SÃO COR CINZA ESCURO.		
23,65	FOLHELHO, COR MARROM AMARELADO A CINZA ESCURO.		
27,30	CALCÁRIO PRATICAMENTE SÃO, COR CINZA ESCURO		
28,70	FOLHELHO COR CINZA ESCURO		

Fig. 4 - Perfil de sondagem em sedimentos coluvionares

dagens profundas ilustrando a distribuição litológica encontrado na região. Essas sondagens foram realizadas respectivamente sobre os sedimentos aluvionares e coluvionares.

A Formação das Vazantes, representada por depósitos arenosos e argilosos inconsolidados, nas mais variadas proporções, é de origem fluvial. O enriquecimento de concreções ferromangâneas e acumulações argilosas vermelhas na sua parte superior indicam a ocorrência de fenômenos de ferralitização, posterior à sua deposição.

Os depósitos coluvionares são predominantemente argilosos, com pouca areia e espessura que varia entre 1 e 8 metros, diminuindo à medida que se aproxima das rochas aflorantes. Sua origem está relacionada à desagregação física e química das rochas da Formação Sete Lagoas, e transporte por gravidade.

Mais recentemente depositaram-se às margens do rio São Francisco, acompanhando o seu curso, sedimentos aluvionares areno-argilosos relacionados com a atual planície de inundação.

3.2.4 Geomorfologia

A região estudada caracteriza-se, a partir do rio São Francisco, pela existência de 3 níveis de terraços (inferior, intermediário e superior), ligados a áreas

elevadas por meio de um "glacis". A FIGURA 2 ilustra os diferentes compartimentos geomorfológicos da região.

O primeiro terraço situa-se entre as cotas de 440 m e 443 m, distribuindo-se às margens do rio São Francisco. Parte desse terraço permanece, boa parte do período chuvoso, inundado pelas águas do São Francisco.

O segundo terraço, situado entre as cotas de 451 m e 453 m, não apresenta sinais de inundação. Apresenta superfície plana coberta por areias finas a médias praticamente puras.

O terceiro terraço, ou superior, situa-se entre as cotas de 462 m e 480 m, sendo coberto por areias finas e médias com teores relativamente mais elevados de argilas vermelhas. Conforme citado anteriormente, este terraço liga-se gradativamente a elevações rochosas por meio de um pedimento coluvionar.

As áreas mais elevadas, representadas por morros isolados, correspondem a testemunhos poupados à erosão que, de maneira notável, atuou em toda a região.

A superfície, tanto dos terraços como do "glacis", caracteriza-se por topografia praticamente plana interrompida pela presença localizada de depressões superficiais e vales de riachos afluentes do São Francisco. Estes vales apresentam-se secos, notando-se apenas, durante a época de chuvas, algumas surgências d'água que não

chegam a constituir cursos d'água.

As depressões superficiais apresentam dimensões, formas e profundidades variadas, sendo, em função de suas profundidades classificadas em:

- . classe A: depressões superficiais com profundidade de até 3 metros;
- . classe B: depressões superficiais com profundidade entre 3 e 5 metros;
- . classe C: depressões superficiais com profundidade maior que 5 metros.

A origem dessas depressões está relacionada ao abatimento do substrato calcário promovido pela existência de estruturas cársticas, detectadas através de sondagens profundas, realizadas tanto sobre os sedimentos aluvionares da Formação das Vazantes, como sobre os sedimentos coluvionares ocorrentes no "glacis". Dois perfis ilustrativos dessas sondagens estão apresentados nas figuras 3 e 4.

3.2.5 Pedologia

Os critérios adotados para a caracterização pedológica foram os definidos pela EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976, apresentados no trabalho: "Levantamento de reconhecimento com detalhes dos solos no Distrito Agroindus

trial do Jaíba - MG", cujo mapa pedológico foi elaborado em escala 1:125 000.

As unidades definidas para a região, sendo analisadas conforme critérios da FAO (in Melfi e Pedro, 1977), podem ser compreendidas e agrupadas da seguinte maneira:

- a) solos caracterizados por alteração praticamente total: Latosol Vermelho Escuro distrófico (LED) e Latosol Vermelho Amarelo distrófico (LVd);
- b) solos caracterizados por alteração incompleta; Cambisol eutrófico (Ce), e Litosol eutrófico (Re);
- c) solos caracterizados por rocha mãe particular: Areias Quartzosas distróficas (AQd);
- d) solos caracterizados por ausência de alteração: Solos Aluviais eutróficos (Ae).

A FIGURA 5 mostra a distribuição das várias unidades pedológicas encontradas na região. As principais características de distinção entre essas unidades serão a seguir descritas.

A - Solos caracterizados por alteração praticamente total

Estes solos apresentam em comum a presença de um horizonte B latossólico, compreendendo dois tipos pedo

LEGENDA DE IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS

LVd2	LATOSOL VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO A moderado textura média fase transição floresta caducifólia-coatinga hipoxerófila relevo plano e suave ondulado com murundus.	Ae1	SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS A moderado textura argilosa fase floresta perenifolia e campos de várzea relevo suave ondulado e plano.
V2	VERTISOL A fraco textura argilosa fase floresta perenifolia de várzea relevo plano.	Ae2	SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS imperfeitamente drenados A fraco e moderado textura argilosa fase coatinga hipoxerófila e campos de várzea relevo plano.
LEd	ASSOCIAÇÃO LATOSOL VERMELHO ESCURO DISTRÓFICO - LATOSOL VERMELHO ESCURO EUTRÓFICO ambos A moderado textura argilosa fase floresta caducifólia relevo plano e suave ondulado.	Ae4	SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS A moderado textura arenosa fase floresta subcaducifólia e campos antrópicos relevo plano e suave ondulado.
Ce1	CAMBISOL EUTRÓFICO argila de atividade alta A moderado textura argilosa fase floresta caducifólia relevo plano e suave ondulado substrato calcário.	AQd	AREIAS QUARTZOSAS DISTRÓFICAS A moderado fase coatinga hipoxerófila relevo plano e suave ondulado.
Ce2	CAMBISOL EUTRÓFICO argila de atividade alta A moderado textura argilosa fase floresta caducifólia relevo plano e suave ondulado substrato sedimentos argilosos.	Re1	ASSOCIAÇÃO DE SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS fase coatinga hipoxerófila e hiperxerófila + CAMBISOL EUTRÓFICO fase transição floresta caducifólia coatinga hipoxerófila ambos argila de atividade alta A moderado textura argilosa relevo plano substrato calcário e AFLORAMENTOS DE CALCÁRIO.
Ce3	CAMBISOL EUTRÓFICO argila de atividade alta A chernozêmica textura argilosa fase floresta caducifólia relevo plano no substrato calcário (BRUNIZEM com B cámbico).	Re2	ASSOCIAÇÃO DE SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS fase transição floresta caducifólia-coatinga hipoxerófila + CAMBISOL EUTRÓFICO fase floresta caducifólia ambos argila de atividade alta A moderado textura argilosa relevo forte ondulado substrato calcário e folhelho AFLORAMENTOS DE CALCÁRIO E FOLHELHO.

Fig. 5 - Mapa Pedológico

lógicos: Latosol Vermelho Escuro com textura argilosa e Latosol Vermelho Amarelo com textura média.

A distinção principal entre esses dois grandes grupos de solos deve-se a algumas particularidades pedogenéticas desenvolvidas sob a influência principalmente do substrato e posição no relevo. Enquanto o Latosol Vermelho Escuro ocorre sobre depósitos coluvionares argilosos influenciados pela composição carbonática do substrato rochoso, o Latosol Vermelho Amarelo distribui-se sobre o terraço aluvionar mais antigo (terraço superior) cujo substrato pedogenético é basicamente constituído por areias quartzosas praticamente puras.

. Latosol Vermelho Escuro distrófico (LEd)

Ocorre associado a depósitos coluvionares, caracterizando-se por seqüência de horizonte A, B e C pouco diferenciada, que se desenvolveram a partir de materiais argilosos, provenientes de calcários. A FOTO 1 mostra uma área de ocorrência desses solos, notando-se a presença de "murundus" em superfície, comumente associados aos latossolos da região.

São solos acentuadamente drenados, argilosos, muito porosos com permeabilidade e friabilidade elevada. Sua quantidade em silte é elevada, contradizendo com a sua natureza latossólica; provavelmente tal fato se deve a uma dispersão incompleta da argila, durante a realização dos ensaios de laboratório.

FOTO 1 - Paisagem de ocorrência do Latosol Vermelho Escuro distrófico (LEd). Notar a grande incidência do "Murundus" dispersamente distribuídos na superfície do terreno. Estrada Mocalmã, km 65.

Ao longo do perfil observa-se distribuição uniforme e dispersa de concreções milimétricas de óxido de ferro e manganês.

O horizonte B é relativamente espesso, podendo atingir espessura de até 3 metros; são muito argilosos, com teores em torno de 70%.

As TABELAS 2 e 3 apresentam resumidamente as principais características físicas e químicas desses solos. Conforme pode ser verificado, estes solos são muito ácidos, apresentam valores de soma de bases inferiores a 2, baixa atividade das argilas, e baixa saturação de bases.

. Latosol Vermelho Amarelo distrófico (LVd)

Distribui-se no terraço superior associado a sedimentos aluvionares da Formação das Vazantes, cuja constituição mineralógica é extremamente pobre, formada quase que exclusivamente por quartzo. A FOTO 2 mostra a parte superior de um perfil desse solo:

As TABELAS 4 e 5 apresentam resumidamente as principais características físicas e químicas desses solos, notando-se muita similaridade quanto as propriedades químicas em relação ao Latosol Vermelho Escuro distrófico. Neste sentido, são também solos muito ácidos, apresentando baixos valores de soma de bases, de atividade das argilas e de saturação de bases.

FOTO 2 - Corte mostrando perfil de Latosol Vermelho Amarelo distrófico (LVd). Estrada Mocambinho - Jaíba.

TABELA 2 - Características físicas principais do Latosol Vermelho Escuro distrófico (LEd)
obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976

Horizontes		Composição Granulométrica (%)				Argila Natural (%)	Grau de Floculação (%)	Relação Silte/Argila	Densidade		Porosidade (%)
Simb.	Prof. (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	(%)	ção (%)	Argila	Apar.	Real	(%)
A ₁	0-15	4	5	22	69	25	64	0,32	1,04	2,38	56
A ₃	15-51	3	5	23	69	8	88	0,33	1,01	2,46	59
B ₁	51-102	2	4	20	74	1	97	0,27	1,06	2,45	57
B ₂₂	102-155	3	5	21	71	0	100	0,30	1,05	2,61	60
B ₂₃	155-200	3	4	20	73	0	100	0,27	1,12	2,76	59

TABELA 3 - Características químicas principais do Latosol Vermelho Escuro Distrófico (LEd)
obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976

Horizontes		pH		Câtons Trocáveis (mE/100g)								Saturaçãode de Base (%)	Ataque por H ₂ SO ₄ / Dens. 1,47 (%)					SiO ₂ /SiO ₂ / Al ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ / (Ki)(Kr)		C (%)	N (%)
Simb.	Prof. (cm)	Água	KCl	H	Al	Ca	Mg	K	Na	Soma de base	C.T.C.		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ (Kr)		
A ₁	0-15	4,3	3,6	4,0	3,6	0,8	0,4	0,19	0,01	1,4	9,0	16	26,7	21,7	11,6	0,54	0,03	2,09	1,56	1,13	0,15
A ₃	15-51	3,9	3,6	4,2	3,8	0,8	0,5	0,14	0,03	1,5	9,5	16	29,3	22,8	11,7	0,48	0,05	2,19	1,64	1,05	0,13
B ₁	51-102	4,4	3,8	2,2	3,4	0,7	0,4	0,05	0,02	1,2	6,8	18	29,5	24,1	11,9	0,53	0,03	2,07	1,58	0,33	0,08
B ₂₂	102-155	4,3	3,7	2,0	3,6	0,6	0,3	0,07	0,02	1,0	6,6	15	30,5	23,6	11,8	0,55	0,03	2,19	1,67	0,30	0,07
B ₂₃	155-260	4,3	3,6	3,0	4,0	0,7	0,3	0,06	0,02	1,1	8,1	14	32,8	24,5	12,4	0,59	0,03	2,28	1,72	0,20	0,06

TABELA 4 - Características físicas principais do Latosol Vermelho Amarelo distrófico (LVd)
obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976

Horizontes		Composição Granulométrica (%)				Argila Natural (%)	Grau de Floculação (%)	Relação Silte/Argila	Densidade		Porosidade (%)
Simb.	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				Apar.	Real	
A ₁	0-13	49	29	4	18	5	72	0,22	1,32	2,77	52
B ₁	13-33	32	38	5	25	7	72	0,20	1,40	2,50	44
B ₂₂	33-82	31	32	7	30	1	97	0,23	1,37	2,35	42
B ₂₃	82-190	26	31	8	35	1	97	0,23	1,40	2,50	44

TABELA 5 - Características químicas principais do Latosol Vermelho Amarelo distrófico (LVd) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976

Horizontes		pH		Câtions trocáveis (mE/100g)								Saturaçãode base (%)	Ataque por H ₂ SO ₄					SiO ₂ / Al ₂ O ₃ (Kl)	SiO ₂ / Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (Kr)	C (%)	N (%)
Símb.	Prof.	Água	KCl	H	Al	Ca	Mg	K	Na	Soma de bases	C.T.C.		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅				
A ₁	0-13	5,0	4,0	2,9	0,9	1,4	0,4	0,14	0,02	2,0	5,8	34	8,0	7,9	2,0	0,38	0,02	1,73	1,48	1,0	0,10
B ₁	13-33	4,7	3,9	1,8	1,7	0,7	0,2	0,08	0,01	1,0	4,5	22	11,9	10,8	2,4	0,40	0,02	1,88	1,64	0,52	0,06
B ₂₂	33-82	4,8	3,9	1,8	1,5	0,7	0,3	0,03	0,01	1,0	4,3	23	13,6	12,4	2,8	0,52	0,01	1,87	1,63	0,20	0,04
B ₂₃	82-190	4,8	3,8	1,3	1,6	0,7	0,3	0,03	0,01	1,0	3,9	26	15,0	14,9	3,0	0,60	0,01	1,71	1,52	0,19	0,03

As principais diferenças entre o Latosol Vermelho Amarelo distrófico e o Latosol Vermelho Escuro distrófico referem-se às características físicas, principalmente texturais. O Latosol Vermelho Amarelo distrófico é essencialmente arenoso, com mais de 50% de areia fina a grossa, e apresentando aumento progressivo de silte e argila em profundidade. Por outro lado, os teores em silte são pouco expressivos, contrastando com o que se observa no Latosol Vermelho Escuro distrófico.

B - Solos caracterizados por alteração incompleta

Estes solos apresentam em comum uma quantidade significativa de minerais primários pouco intemperizados, distribuídos ao longo do perfil, sendo representados os seguintes tipos pedológicos: Cambisol eutrófico substrato sedimentos argilosos, Cambisol eutrófico fase substrato calcário, Cambisol eutrófico com horizonte A chernozêmico e Litosol eutrófico.

Os cambissolos caracterizam-se pela presença de um horizonte B câmbico, coloração amarela avermelhada e grande quantidade de minerais primários principalmente na fração silte. Ocorrem em áreas rebaixadas, associando-se normalmente às ocorrências de depressões superficiais, comuns na região, conforme pode ser evidenciado nas FOTOS 3 e 4.

FOTO 3 - Vista geral do relevo em áreas de ocorrência do Lato sol Vermelho Amarelo distrôfico (LVd) e do Cambisol eutrôfico, ambos associados ao terraço superior. O Cambisol eutrôfico (Ce₂) distribui-se na parte deprimida do terreno. Estrada Mo cambinho - Jaíba.

FOTO 4 - Vista geral do relevo em áreas de ocorrência do Latossol Vermelho Escuro distrófico (LEd) e Cambissol eutrófico, associados a sedimentos coluvionares. O Cambissol eutrófico (Ce1) distribuiu-se na parte deprimida do terreno. Estrada Mocambinho-Jaíba.

Entre os cambissolos distinguem-se na região estudada três subclasses cujas características principais são as seguintes:

. Cambisol eutrófico fase substrato calcário (Ce₁)

O Cambisol eutrófico fase substrato calcário distribui-se em áreas de ocorrência de sedimentos coluvionares argilosos em locais rebaixados onde o substrato rochoso, constituído por calcário, encontra-se a pequenas profundidades, normalmente pouco acima de 2,0 metros. As FOTOS 5 e 6 mostram perfis representativos desses solos.

As TABELAS 6 e 7 apresentam resumidamente as características físicas e químicas desses solos, permitindo as seguintes considerações:

- são solos essencialmente argilo-siltosos ao longo de todo o perfil, representando a fração fina teores superiores a 70%. Observa-se entre os horizontes A e B um ligeiro aumento em profundidade nos teores de argila e diminuição nos teores de silte. Por outro lado, entre os horizontes B e C observa-se ao contrário, uma ligeira diminuição nos teores de argila e aumento nos teores de silte. Conclui-se portanto pela existência de um certo gradiente textural, provavelmente relacionado a aporte de material, tendo em vista a posição topográfica que esses solos ocupam na paisagem.

FOTO 5 - Trincheira mostrando perfil de Cambisol eutrófico, substrato calcário (Ce₁). Notar a parte inferior do perfil, no contato com o substrato, com concentração de concreções de limonita. Estrada Mocambinho - Jaíba.

FOTO 6 - Trincheira mostrando perfil de Cambisol eutrófico (Ce1) em transição para Latosol Vermelho Escuro distrófico (LEd). Estrada Mocambinho-Jaíba.

TABELA 6 - Características físicas principais do Cambisol eutrófico fase substrato Calcário (Ce₁) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976.

Horizontes		Composição Granulométrica (%)				Argila Natural	Grau de Floculação (%)	Relação Silte/Argila	Densidade		Porosidade
Simb.	Prof. (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	(%)	ção (%)	Argila	Apar.	Real	(%)
A ₁	0-5	16	18	37	29	14	52	1,30	1,35	2,44	45
A ₃	5-20	16	16	30	38	23	39	0,79	1,31	2,40	45
B ₁	20-35	12	13	27	48	24	50	0,56	1,44	2,65	46
B ₂	35-125	13	13	26	48	14	71	0,54	1,36	2,80	51
B ₃	125-165	13	14	29	44	3	93	0,66	1,36	2,61	48
C	165-190	11	15	33	41	6	85	0,80	-	2,44	-

TABELA 7 - Características químicas principais do Cambisol eutrófico fase substrato calcá-
rio (Cei) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976

Horizontes		pH		Câtons trocáveis (mE/100g)								Saturaçã de bases		Ataque por H ₂ SO ₄ Dens. 1,47 (%)					SiO ₂ / Al ₂ O ₃	SiO ₂ / Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	C	N
Simb.	Prof.	Água	KCl	H	Al	Ca	Mg	K	Na	Soma de bases	C.T.C.	(%)		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	(Ki)	(Kr)	(%)	(%)
A ₁	0-5	6,7	5,8	2,4	0	10,0	1,6	0,68	0,09	12,4	14,8	84		13,5	9,5	7,4	0,41	0,07	2,42	1,61	1,58	0,16
A ₃	5-20	6,5	5,5	2,2	0	8,4	1,8	0,41	0,06	10,7	12,9	83		16,6	11,7	8,2	0,44	0,06	2,40	1,66	0,66	0,12
B ₁	20-35	6,3	5,2	2,2	0	7,4	1,3	0,18	0,04	8,9	11,1	80		21,1	15,6	9,0	0,53	0,05	2,30	1,68	0,35	0,10
B ₂	35-125	6,1	5,2	2,0	0	6,3	1,3	0,25	0,03	7,9	9,9	80		21,9	15,4	8,1	0,55	0,02	2,42	1,81	0,14	0,07
B ₃	125-165	5,5	4,4	2,0	0	5,3	1,5	0,27	0,03	7,1	9,1	78		21,4	15,1	8,2	0,58	0,02	2,41	1,79	0,07	0,03
C	165-190	5,5	4,4	2,0	0	5,5	1,4	0,11	0,03	7,0	9,0	78		21,1	14,7	8,1	0,62	0,02	2,44	1,81	0,05	0,02

- são solos que apresentam relação silte/argila relativamente elevada ao longo de todo o perfil;
- apresentam-se relativamente bem drenados até a base do horizonte B; esta condição de drenagem diminui à medida que se aproxima do horizonte C, tendo em vista a proximidade do substrato calcário. Em função dessa particularidade é comum observar-se nas partes inferiores desses solos ocorrências de mosqueamento provocado por fenômenos de redução.
- são solos pouco lixiviados apresentando em geral pH moderadamente ácido a neutro, relação K_i normalmente superior a 2,0, e saturação de bases relativamente elevada.

. Cambisol eutrófico fase substrato sedimentos argilo-
sos (Ce₂)

O Cambisol eutrófico fase substrato sedimentos argilosos distribui-se em áreas rebaixadas do terraço aluvionar mais elevado.

As Tabelas nºs 8 e 9 apresentam as características físicas e químicas principais desses solos, evidenciando muita semelhança com Cambisol eutrófico fase substrato calcário, sendo válidas as mesmas considerações anteriormente descritas.

TABELA 8 - Características físicas principais do Cambisol eutrófico fase sedimentos argi-
sos (Ce₂) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976.

Horizontes		Composição Granulométrica (%)				Argila	Grau de	Relação	Densidade		Porosidade
Simb.	Prof. (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	(%)	Flocula- ção (%)	Silte/ Argila	Apar.	Real	(%)
A _p	0-19	7	19	48	26	13	50	1,84	1,17	2,43	52
A ₃	19-32	10	16	44	30	20	33	1,47	1,43	2,49	43
B ₂₁	32-49	6	12	32	50	35	30	0,64	1,49	2,53	41
B ₂₂	49-103	6	12	33	49	42	14	0,67	1,56	2,53	38
B ₃	103-152	5	10	46	39	5	87	1,18	1,66	2,54	35

TABELA 9 - Características químicas principais do Cambisol eutrófico fase sedimentos argilosos (Ce2) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976.

Horizontes		pH		Câtons trocáveis (mE/100g)								Saturação de base (%)	Ataque por H_2SO_4 Dens. 1,47 (%)					SiO_2 / Al_2O_3 $SiO_2 / Al_2O_3 + Fe_2O_3$		C (%)	N (%)
Simb.	Prof.	Água	KCl	H	Al	Ca	Mg	K	Na	Soma de bases	C.T.C		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO ₂	P ₂ O ₅	(Kt)	(Kr)		
A _p	0-19	6,4	5,6	2,0	0	11,5	3,5	0,26	0,01	15,3	17,3	88	9,6	6,5	3,3	0,50	0,07	2,51	1,90	0,57	0,06
A ₃	19-32	6,7	5,6	1,3	0	9,1	2,4	0,11	0,12	11,7	13,0	90	11,8	8,1	4,0	0,59	0,04	2,48	1,88	0,49	0,06
B ₂₁	32-49	6,3	4,8	1,8	0	13,8	3,6	0,08	0,24	17,7	19,5	91	20,0	13,6	5,3	0,60	0,03	2,50	2,00	0,47	0,05
B ₂₂	49-103	6,9	5,9	0,4	0	13,7	4,5	0,07	0,50	18,8	19,2	98	20,1	13,2	4,9	0,61	0,01	2,59	2,09	0,16	0,04
B ₃	103-152	7,6	6,9	0,0	0	16,4	5,5	0,06	0,81	22,8	22,8	100	20,2	13,0	4,2	0,63	0,02	2,64	2,19	0,09	0,03

. *Cambisol eutrôfico com horizonte A Chernozêmico (Ce₃)*

Ocorrem em áreas rebaixadas associadas aos depósitos coluvionares. Apresentam características morfológicas, físicas e químicas muito semelhantes ao cambisol eutrôfico fase substrato calcário diferindo desta quanto as seguintes características:

- espessura superior do horizonte A, que normalmente é maior que 30 cm;
- o horizonte C apresenta teores mais elevados de concreções limoníticas, normalmente cimentadas com argila.
- apresenta normalmente maiores concentrações de óxidos de ferro distribuídos ao longo do perfil; em consequência, o Cambisol eutrôfico com horizonte A Chernozêmico apresenta valores da relação Al_2O_3/Fe_2O_3 relativamente mais baixos;
- apresenta teores em carbono orgânico no horizonte A relativamente mais elevados.

As FOTOS 7 e 8 mostram perfis típicos desses solos.

As TABELAS 10 e 11 apresentam resumidamente as principais características físicas e químicas do Cambisol eutrôfico com horizonte A Chernozêmico.

FOTO 7 - Trincheira mostrando perfil de Cambisol eutrófico A Charnozêmico (Ce_3). Estrada Mocambinho-Jaíba.

FOTO 8 - Trincheira mostrando perfil de Cambisol eutrófico A Chernozêmico (Ce_3) em transição para Latosol Vermelho Escuro distrófico (LEd).

TABELA 10 - Características físicas principais do Cambisol eutrófico A Chernozêmico (Ce₃) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976.

Horizontes		Composição Granulométrica (%)				Argila Natural (%)	Grau de Floculação (%)	Relação Silte/Argila	Densidade		Porosidade (%)
Simb.	Prof. (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	(%)	ção (%)	Argila	Apar.	Real	
A ₁	0-10	25	8	27	40	18	55	0,68	1,01	2,56	61
A ₃	10-31	23	9	22	46	18	61	0,48	1,24	2,33	47
B ₂₂	31-62	22	9	19	50	17	66	0,38	1,34	2,52	48
B ₂₃	62-108	21	8	20	51	16	69	0,39	1,23	2,22	45
C ₁	108-112	33	6	16	45	14	69	0,36	1,30	2,58	50
C ₂	112-180	45	4	12	39	22	44	0,37	1,57	2,63	40

TABELA 11 - Características químicas principais do Cambisol eutrófico A chernozêmico (Ce₃) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976.

Horizontes		pH		Câtions trocáveis (mE/100g)								Saturaçã de bases (%)	Ataque por H ₂ SO ₄ Dens. 1,47 (%)					SiO ₂ / Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ / Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (Kr)	C (%)	N (%)
Símb.	Prof.	Água	KCl	H	Al	Ca	Mg	K	Na	Soma de bases	C.T.C.		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅				
A ₁	0-10	6,8	5,8	1,9	0	21,5	2,2	0,30	0,19	24,1	26,1	92	23,7	19,4	14,1	0,68	0,11	2,08	1,42	3,98	0,42
A ₃	10-31	7,1	6,0	1,0	0	15,1	1,2	0,07	0,11	16,5	17,5	94	24,9	20,7	16,1	0,72	0,07	2,04	1,37	1,62	0,17
B ₂₂	31-62	7,2	5,9	0,6	0	13,0	0,6	0,03	0,07	13,7	14,3	96	25,8	21,7	15,8	0,72	0,05	2,02	1,38	0,75	0,10
B ₂₃	62-108	6,2	4,9	1,3	0	9,8	1,7	0,02	0,05	11,6	12,8	90	26,7	22,4	13,6	0,72	0,03	2,03	1,46	0,42	0,06
C ₁	108-112	5,9	4,8	1,1	0	10,0	1,1	0,02	0,10	11,2	12,3	91	26,8	22,5	18,4	0,83	0,4	2,02	1,33	0,25	0,05
C ₂	112-180	6,4	5,0	0,8	0	11,9	0,2	0,04	0,05	12,2	13,0	94	27,2	23,0	19,1	0,74	0,05	2,01	1,31	0,11	0,03

Os solos Litólicos eutróficos distribuem-se em áreas localizadas, onde a intensidade erosiva fez aflorar a rocha calcária. São solos pouco desenvolvidos com horizonte A sobre a rocha ou sobre horizonte C de pequena espessura.

C - Solos caracterizados por rocha mãe particular

Estes solos são representados pelas Areias Quartzosas distróficas.

As Areias Quartzosas distróficas (AQd) são solos areno-quartzosos profundos, pouco desenvolvidos, com horizontes A e C contendo baixos teores de argila (menos de 15%). A diferenciação entre os horizontes A e C é difícil, face à pequena variação na coloração e textura.

Estes solos distribuem-se em grande parte dos terços intermediários e superior, derivados de depósitos aluvionares arenosos.

As TABELAS 12 e 13 apresentam as características físicas e químicas desses solos. Conforme pode ser observado, as características que mais se destacam nesses solos são:

- são solos profundos, com mais de 2,00 metros, extremamente arenosos, com progressivo aumento em argila e silte em profundidade.

TABELA 12 - Características físicas principais das Areias Quartzosas distróficas (AQd)
obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976

Horizontes		Composição Granulométrica (%)				Argila Natural	Grau de Relação Flocula- ção (%)	Relação Silte/ Argila	Densidade		Porosidade
Simb.	Prof. (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	(%)			Apar.	Real	(%)
A	0-14	81	10	3	6	1	83	0,50	1,28	2,51	49
C ₁	14-81	81	9	1	9	1	89	0,11	1,41	2,52	44
C ₂₁	81-135	72	17	0	11	2	82	-	1,39	2,60	46
C ₂₂	135-200	71	15	1	13	2	85	0,08	1,51	2,62	42

TABELA 13 - Características químicas principais das Areias Quartzosas distróficas (AQd) obtidas segundo EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS, 1976

Horizontes		pH		Câtons trocáveis (mE/100g)							Saturação de base (%)	Ataque por H ₂ SO ₄ Dens. 1,47 (%)					SiO ₂ / Al ₂ O ₃	SiO ₂ / Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	C	N	
Simb.	Prof.	Água	KCl	H	Al	Ca	Mg	K	Na	soma de bases		C.T.C.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	(Kt)	(Kr)	(%)	(%)
A	0-14	5,7	4,9	1,5	0	1,3	0,1	0,05	0,01	1,5	3,0	50	2,3	2,5	0,9	0,21	0,01	1,57	1,27	0,77	0,06
C ₁	14-81	5,2	4,3	0,9	0,6	0,6	0,0	0,01	0,01	0,6	2,1	29	3,3	3,3	1,1	0,22	0,01	1,70	1,40	0,18	0,03
C ₂₁	81-135	4,8	1,0	1,0	0,7	0,6	0,0	0,01	0,01	0,6	2,3	26	4,3	4,2	1,2	0,27	0,01	1,74	1,47	0,13	0,02
C ₂₂	135-200	5,0	4,0	0,9	0,6	0,5	0,0	0,01	0,01	0,5	2,0	25	4,1	4,3	1,4	0,29	0,01	1,82	1,51	0,04	0,02

- são excessivamente drenados, dessaturados, muito ácidos e com aumento em profundidade nos teores de óxidos de silício, ferro e alumínio.

D - Solos caracterizados por ausência de alteração

São solos pouco desenvolvidos, representados pelos Solos Aluviais eutróficos, desenvolvidos sobre sedimentos aluviais mais recentes.

Entre os Solos Aluviais eutróficos distinguem-se na região estudada três subclasses: Solos aluviais eutróficos textura argilosa (Ae_1), Solos Aluviais eutróficos textura argilosa, imperfeitamente drenados (Ae_2) e Solos Aluviais eutróficos textura arenosa (Ae_4). Os dois primeiros encontram-se localizados sobre o terraço inferior, enquanto que os Solos Aluviais eutróficos textura arenosa localizam-se no terraço intermediário.

A principal distinção entre os Solos Aluviais eutróficos textura argilosa (Ae_1 e Ae_2) se faz pela presença de mosqueamento proveniente de gleização. Essa característica é particularmente observada nos Solos aluviais textura argilosa imperfeitamente drenados (Ae_2), principalmente no horizonte C. Estes solos gleizados apresentam-se encharcados em boa parte do ano, tendo em vista o regime de variação do lençol freático sob influência do rio São Francisco.

3.3 As Associações Geopedológicas

Conforme evidenciado no item anterior existe na região estudada uma correspondência marcante entre os vários componentes da paisagem: a litologia, o relevo, os solos e a vegetação constituindo as associações geopedológicas apresentadas na TABELA 14.

A análise dessa tabela permite a identificação das seguintes associações geopedológicas:

- . *Associação 1: solos Litólicos associados a afloramentos de rocha calcária.* Ocorre nos morros isolados e nos "lajeados", áreas que testemunham intensa erosão a que foi submetida a região. Nos morros isolados esta associação concentra-se em suas porções mais elevadas.
- . *Associação 2: Solos Aluviais eutróficos em substrato sedimentar argiloso.* Ocorre no terraço inferior, em posição topográfica sujeita às influências hídricas e deposicionais do rio São Francisco.
- . *Associação 3: Solos Aluviais eutróficos e Areias Quartzosas distróficas em substrato sedimentar arenoso.* Ocorre no terraço intermediário, em posição topográfica não sujeita à ação direta do rio São Francisco. Os solos desta associação são formados exclusivamente a

TABELA 14 - Associações geopedológicas

Associações Geopedológicas	Litologia	Relevo	Tipos Pedológicos	Vegetação Natural
1	calcário aflorante	Morros testemunhos	Solos Litólicos (Re)	Caatinga hiperxerófila
2	sedimentos argilosos aluvionares	Terraço inferior	Solos Aluviais eutróficos textura argilosa (Ae ₁ ; Ae ₂)	floresta perenifolia
3	sedimentos arenosos aluvionares	Terraço intermediário	Solos Aluviais eutróficos textura arenosa (Ae ₄) Areias Quartzosas distróficas (AQd)	floresta subcaducifolia Caatinga hipoxerófila
4	sedimentos areno-argilosos aluvionares	Terraço superior	areias quartzosas distróficas (AQd) Latosol Vermelho-Amarelo distrófico (LVd) Cambisol eutrófico (Ce ₂)	Caatinga hipoxerófila floresta/caatinga floresta caducifolia
5	sedimentos argilosos coluvionares	glacis	Latosol Vermelho Escuro distrófico (LEd) Cambisol eutrófico (Ce ₃ ; Ce ₁)	floresta caducifolia

partir de depósitos sedimentares arenosos contendo acumulações incipientes de ôxido de ferro, observadas principalmente nas porções inferiores do perfil.

. *Associação 4: Latosol Vermelho Amarelo distrôfico, Areias Quartzosas distróficas e Cambisol autrôfico em substrato sedimentar areno-argiloso.* Ocorre no terraço superior, cujo material original, constituído por areias finas e grossas com camadas esparsas de argilas, foi submetido a alteração ferralítica, resultando numa diferenciação do perfil com concentração de sesquiôxidos de ferro e alumínio, e de argilas cauliníticas.

O Latosol Vermelho Amarelo distrôfico predomina no terraço superior sendo, entre os demais solos da associação 4, o mais evoluído pedologicamente. São formados a partir de sedimentos aluvionares arenosos da Formação das Vazantes com grande contribuição de elementos provenientes de rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas.

As Areias Quartzosas distróficas, solos conceitualmente definidos como pouco evoluídos, ocorrem em ampla distribuição no terraço superior. Deve-se entretanto ressaltar que as características morfológicas destes solos diferem profundamente dos encontrados no terraço intermediário. No terraço intermediário estes solos apresentam perfis texturalmente homogêneos, constituídos por areia praticamente pura, onde morfologicamente pode

ser distinguido um horizonte A superior com aproximadamente 0,20 m de espessura, e um horizonte C subjacente, muito semelhante ao horizonte superior, tanto na textura como na coloração, com espessuras superiores a 2,0 m; no terraço superior as Areias Quartzosas distrôficas apresentam geralmente perfis heterogêneos, onde superficialmente até 1,0 m de profundidade, o material é essencialmente arenoso e logo abaixo o material torna-se progressivamente mais argiloso, com espessuras que podem atingir até cerca de 10 metros.

Os Cambissolos eutróficos, distribuem-se no terraço superior em áreas rebaixadas localizadas. Originam-se a partir de sedimentos aluvionares argilosos (argila praticamente pura). Em função da sua procedência argilosa, que dá ao material original características de baixa permeabilidade, estes solos apresentam menor deseenvolvimento, menor profundidade que os demais solos do Terraço superior, e grande porcentagem de constitintes originais pouco intemperizados.

. Associação 5: Latosol Vermelho Escuro distrôfico e Cambisol eutrôfico em substrato coluvionar argiloso.

Ocorre entre o terraço superior e o sopê dos morros testemunhos, correspondendo a uma unidade geomorfológica definida por "glacis".

O Latosol Vermelho Escuro distrófico é o solo mais evoluído, dentre os encontrados no depósito coluvionar. Origina-se a partir de sedimentos coluvionares com grande contribuição de elementos provenientes da alteração de rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas.

Os Cambissolos representam solos menos evoluídos do depósito coluvionar, distribuídos em áreas rebaixadas. A menor evolução desses solos deve-se a um certo confinamento da drenagem, o que limitou o mecanismo de lixiviação dos materiais originais, concentrando no perfil minerais primários pouco intemperizados. Esses minerais constituem a fração silte desses solos, dando em consequência, uma relação silte/argila relativamente alta. Devido também à posição em que esses solos ocupam (áreas rebaixadas), ocorre contínua deposição superficial de sedimentos coluvionares, contribuindo para uma certa heterogeneidade textural.

3.4 A Interpretação Geopedológica

As condições climáticas da região estudada, (Tropical de Savana), com alternância bem marcada entre período chuvoso e seco, apresenta tendência favorável ao desenvolvimento de uma hidrólise parcial devendo resultar numa alteração intermediária entre a alteração ferralítica e a alteração fersialítica. Na alteração ferralítica predomina a hidrólise total dos minerais do substrato rochoso caracterizada por uma liberação completa da

sílica e bases com acumulação no perfil de hidróxidos de ferro e alumínio; por outro lado, a alteração fersialítica caracteriza-se por um mecanismo de hidrólise onde a liberação da sílica e dos alcalino-terrosos é incompleta, favorecendo a neoformação de argila do grupo 2:1.

Entretanto, as condições teoricamente esperadas em termos da evolução pedológica para a região estudada, não foram totalmente confirmadas. Realmente, observa-se uma predominância de solos ferralíticos intensamente lixiviados e portanto com baixa saturação de bases e baixa capacidade de troca catiônica.

Nestas condições, outros fatores pedogenéticos, mais diretamente relacionados à situação local do meio deverão ser analisados em conjunto com o clima regional. Assim, o substrato pedogenético quando constituído por sedimentos aluvionares arenosos e coluvionares, apresentam drenagem interna elevada, favorecendo uma aceleração na evolução do perfil. Deve-se também considerar, principalmente para as formações aluvionares, o fator tempo, como um elemento importante na definição do estágio evolutivo do solo.

Tendo em vista os aspectos citados, a interpretação geopedológica da região estudada, deve necessariamente ser analisada distinguindo-se as várias situações do meio físico, anteriormente definidas sob a denominação de Associações Geopedológicas.

De uma maneira geral dois grandes ambientes geopedológicos destacam-se na paisagem: o primeiro representado pela formação coluvionar distribuída ao longo do "glacis" e o segundo representado pelas formações aluvionares distribuídas nos diferentes níveis de terraços.

Nesses ambientes, a ferralitização é o fenômeno principal na diferenciação pedogenética, estando condicionado à ação conjugada de certas particularidades do meio onde se destacam:

- . a drenagem do substrato pedogenético, favorecendo a percolação d'água;

- . os materiais originais sobre os quais os solos se desenvolvem, seu estado de alteração, e em particular suas características mineralógicas, tais como a existência de minerais ricos em ferro e alumínio;

- . as características geomorfológicas, isto é, o tipo de modelado e a posição dos solos sobre esse modelado;

- . as ações biológicas, principalmente aquelas provocadas por termitas, vermes, formigas e microorganismo.

3.4.1 Ambiente Geopedológico I: solos desenvolvidos sobre sedimentos coluvionares

Caracteriza-se por uma pedogênese desenvolvida sobre substrato coluvionar argiloso, cuja origem está re

lacionada à desagregação físico-química das rochas da Formação Sete Lagoas e sedimentação com transporte por gravidade. Esse material (colúvio), altamente argiloso, apresenta entretanto alta permeabilidade, e sua espessura aumenta gradativamente à medida que se afasta dos afloramentos rochosos.

Os tipos pedológicos representativos desse ambiente são os Latossolos Vermelho Escuro distróficos e os Cambissolos eutróficos, cujas características físicas e químicas principais foram anteriormente apresentadas (item 3.2.5).

Entre esses solos, os cambissolos apresentam características que permitem enquadrá-los num estágio evolutivo intermediário entre a alteração fersilítica e ferralítica.

Entre essas características comuns a esse estágio evolutivo ressaltam-se as seguintes:

- a) ocorrência do fenômeno de migração de argila, identificado pela presença de cerosidade nos horizontes inferiores, e aumento progressivo em profundidade nos teores de argila;
- b) capacidade de troca catiônica da fração argila, relativamente elevada;
- c) relação sílica/alumina (K_i) $> 2,0$;
- d) hidrólise neutra a pouco ácida e incompleta, mantendo no solo uma reserva importante de minerais pouco alterados;

e) colmatção da argila nos horizontes inferiores podem evidenciar mosqueamento característico de gleização.

Estes solos ocupam posições rebaixadas do relevo, principalmente no fundo de depressões superficiais. Nessas condições, observa-se um certo confinamento da drenagem nas partes inferiores do perfil, dado a presença a pequenas profundidades do substrato calcário. Existe, portanto, uma influência direta no desenvolvimento pedogenético desses solos, tanto do material coluvionar em superfície, como do substrato calcário em subsuperfície. Estas condições, permitem contínua concentração nesses solos de elementos migrados, resultando em maior saturação de bases e evolução mais lenta. Estas condições favorecem a formação de argilominerais do grupo 2:1 principalmente nas partes inferiores dos perfis, conforme demonstrado nas TABELAS 15, 16 e 17. Essas tabelas apresentam o resultado de análises mineralógicas por difratometria de raio-X, em amostras representativas dos diferentes solos encontrados na região.

Com relação aos Latossolos Vermelho Escuro, essas características não se mantêm, sugerindo a predominância do fenômeno de lixiviação acompanhado de pequena migração vertical da argila. Nestas condições estes solos se identificam a um estágio mais avançado de evolução pedológica, com características muito próximas de solos ferralíticos. Estes solos distribuem-se em posições

TABELA 15 - Composição dos Argilominerais nos diferentes tipos pedológicos, por difratometria de Raios-X
fração inferior a 2 μ

TIPO PEDOLÓGICO	LOCAL DE OCORRÊNCIA	PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA		TIPOS DE ARGILOMINERAIS				
		HORIZONTE	PROFUNDIDADE (m)	K	I	V	E	I - E
Solos Aluviais eu- tróficos textura argilosa imperfei- tamente drenados (Ae ₁)	Terrapço inferior	A	0,0 - 0,47	+++	++	++	-	-
		C	0,47 - 1,22	+++	++	++	+	-
Solos Aluviais eu- tróficos textura média (fundo de dolina)	Terrapço interme- diário	A	0,0 - 0,30	++++	+	-	-	-
		C	0,30 - 1,0	++++	+	-	+	-
Solo Hidromórfico (fundo de dolina)	Terrapço intermediá- rio (fundo de doli- na)	A	0,0 - 0,60	+++++	+	-	-	-
Areias Quartzosas distróficas (AQd)	Terrapço interme- diário	C	0,38 - 2,30	+++++	tr	tr	-	-
		C	2,30 - 3,20	+++++	tr	tr	-	-
Latosol Vermelho Amarelo textura média (LVd)	Terrapço superior	B	0,50 - 2,40	+++++	tr	tr	-	-
		B	5,0 - 5,80	+++++	tr	tr	-	-
		B	5,80 - 6,70	+++++	tr	tr	-	-
		C	6,70 - 7,90	+++++	tr	tr	-	-
Latosol Vermelho Amarelo textura média (LVd)	Terrapço superior	B	0,20 - 1,20	+++++	tr	tr	-	-
		B	2,20 - 2,60	+++++	tr	tr	-	-
Cambisol entrófi- co fase substra- to sedimentos ar- gilosos (Ce ₂)	Terrapço superior (depressão superfi- cial)	B	0,15 - 0,50	+++++	+	+	-	-
		B	0,50 - 0,70	+++++	tr	+	-	-

LEGENDA

+++++	> 80%	+	< 20%	V	vermiculita
++++	80% a 60%	tr	traços	E	esmectita
+++	60% a 40%	K	caulinita	I-E	camada mista ilita - esmectita
++	40% a 20%	I	ilita		

TABELA 16 - Composição dos Argilominerais nos diferentes tipos pedológicos, por difratometria de Raios-X fração inferior a 2 μ

TIPO PEDOLÓGICO	LOCAL DE OCORRÊNCIA	PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA		TIPOS DE ARGILOMINERAIS				
		HORIZONTE	PROFUNDIDADE (m)	K	I	V	E	I.-V
Cambisol entrófico fase substrato calcário (C e I)	Depósitos coluvionares (depressão superficial)	B	0,20 - 0,50	++++	+	-	-	++
		C	0,50 - 0,70	+++	+	-	-	+++
Cambisol entrófico fase substrato calcário (transição para Latosol vermelho escuro)	Depósitos coluvionares	B	0,15 - 0,53	+++	+++	-	-	+
		B	0,53 - 1,65	+++	++	-	-	+
		B	1,65 - 1,82	+++	++	-	-	+
Latosol vermelho escuro ditrófico (LEd)	Depósitos coluvionares	B	0,30 - 1,00	++++	++	-	-	-
Cambisol entrófico A cheinozênico (Ce ₃)	Depósitos coluvionares	B	0,30 - 1,00	++++	+	-	-	+
		B	1,00 - 1,63	+++	+	-	-	++
		C	2,05 - 2,58	++++	+	-	-	+
Cambisol entrófico A cheinozênico (Ce ₃) transição para Latosol vermelho amarelo ditrófico	Depósitos coluvionares	A	0,0 - 0,50	++++	-	-	-	+
		B	0,50 - 0,87	++++	-	-	-	+
		B	0,87 - 1,40	++++	-	-	-	+
		C	1,40 - 1,60	++++	+	-	-	+

LEGENDA

+++++	> 80%	+	< 20%	V	vermiculita
++++	80% a 60%	tr	traços	E	esmectita
+++	60% a 40%	K	caulinita	I-E	camada mista Ilita - esmectita
++	40% a 20%	I	ilita		

TABELA 17 - Composição dos Argilominerais nos diferentes tipos pedológicos, por difratometria de Raios-X fração inferior a 2 μ

TIPO PEDOLÓGICO	LOCAL DE OCORRÊNCIA	PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA		TIPOS DE ARGILOMINERAIS				
		HORIZONTE	PROFUNDIDADE (m).	K	I	V	E	I - E
Latosol Vermelho Amarelo distrófico (LVd ₂)	Terraço superior	B	0,40 - 0,76	+++++	-	-	-	tr
		B	1,21 - 1,76	+++++	-	-	-	tr
		C	1,76 - 2,16	+++++	-	-	-	tr
		C	2,16 - 2,85	+++++	-	-	-	tr
Cambisol eutrófico substrato calcário (Ce ₁)(transição para latossol vermelho escuro)	Depósitos coluvionares	B	0,05 - 0,40	+++	+++	-	-	-
		B	0,70 - 1,00	+++	+++	-	-	-
Areias Quartzosas distróficas (AQd)	Terraço superior	C	0,30 - 0,60	+++++	+	-	-	-
		C	0,60 - 2,20	+++++	+	-	-	+
		C	2,20 - 5,20	+++++	+	-	-	+
		C	5,30 - 7,30	+++++	+	-	-	+

LEGENDA

+++++	> 80%	+	< 20%	V	vermiculita
++++	80% a 60%	tr	traços	E	esmectita
+++	60% a 40%	K	caulinita	I-E	camada mista ilita - esmectita
++	40% a 20%	I	ilita		

aplainadas do depósito coluvionar permitindo uma evolu
ção pedológica mais acelerada.

A composição textural e mineralógica do depósito coluvionar, onde se destaca a predominância das frações finas com fragmentos centimétricos de calcário, facili
ta substancialmente o desenvolvimento da alteração por hidr
ólise. A migração vertical e lateral dos elementos, liberados pela hidr
ólise é igualmente facilitada tendo em vista a sua topografia plana e alta drenagem. Assim, os elementos solubilizados são intensamente lixivi
ados permitindo rápida evolução do perfil. Nestas condições, o argilo-mineral formado é predominantemente do grupo das caulinitas.

3.4.2 Ambiente Geopedológico II: solos desenvolvidos sobre sedimentos aluvionares

Sedimentos aluvionares distribuídos nos três ní
veis de terraços, constituem um importante fator de pe
dogênese dos solos desenvolvidos nesse ambiente geopedo
lógico. Estes sedimentos conforme descritos no item 3.2.3, são constituídos por depósitos arenosos e argilosos de origem fluvial.

A evolução pedogenética observada neste ambiente é condicionada em grande parte à natureza mineralógica, textural e topográfica do substrato. Deve-se assim con
siderar que tendo em vista as condições sedimentol
ógicas do depósito aluvionar e sua maturidade, cada nível

de terraço apresenta certas particularidades importantes no desenvolvimento pedológico; o primeiro terraço, ou terraço inferior, apresenta predominância de sedimentos argilosos, enquanto que o segundo terraço (intermediário), e o terceiro terraço (superior), constituem-se basicamente por sedimentos arenosos. Por outro lado, existe uma diferença relativa na idade dos diferentes depósitos; à medida que se afasta do curso atual do rio São Francisco a idade do depósito aluvionar aumenta, de modo que o terraço inferior é de origem praticamente atual, e os terraços intermediário e superior são sequencialmente mais antigos.

Considerando a distribuição pedológica dos diferentes terraços, nota-se uma relação direta entre a idade relativa dos depósitos e o estágio evolutivo pedológico. Assim, nos dois primeiros níveis de terraço (inferior e intermediário), distribuem-se solos pedologicamente pouco evoluídos, representados pelos Solos Aluviais e Areias Quartzosas distróficas, enquanto que no terraço superior, observa-se a presença de solos mais desenvolvidos, caracterizados pelos latossolos e cambissolos. Os Solos Aluviais e Areias Quartzosas distróficas, sendo pouco desenvolvidos, guardam características muito próximas dos materiais originais; nesses solos, o estágio evolutivo não é suficiente para diferenciação pronunciada do perfil. Merecem análise interpretativa mais elaborada os solos distribuídos no terraço superior, cujas

características físicas e químicas principais foram apresentadas no item 3.2.5.

A análise dessas características denota as mesmas conclusões fundamentais apresentadas para os latossolos e cambissolos distribuídos no ambiente geopedológico I. Assim, os Latossolos Vermelho Amarelo distróficos apresentam características de pronunciada ferralitização : altamente dessaturados, baixa capacidade de troca catiônica e ausência de horizonte argílico, apresentando tendência favorável a formação de argilas cauliniticas ao longo de todo o perfil. Por outro lado, os cambissolos possuem elevada saturação em bases, presença de horizonte B argílico e tendência favorável a ocorrência de argilo-minerais do grupo 2:1 nos horizontes inferiores (TABELAS 15, 16 e 17).

As características morfológicas observadas ao longo dos perfis ferralitizados do depósito aluvionar sugerem que o processo de ferralitização tenha se desenvolvido após deposição dos sedimentos. Esse aspecto, de fundamental importância na interpretação pedogenética desse ambiente, foi constatado através de sondagem profunda atravessando o pacote sedimentar até o substrato rochoso.

A análise desses perfis evidencia níveis diferentes em termos de concentração em ferro e argila, de maneira que, em condições ideais, pode ser caracterizada a ocorrência de três níveis:

- nível superior, homogêneo em termos principalmente de textura e coloração, correspondendo ao horizonte B pe dológico; este nível, resulta da redistribuição máxima do ferro e argila homogeneizando o perfil; os valores de pH evidenciam predominância de pedogênese ácida. A concentração de argila e ferro é feita quase que exclu sivamente por acumulação absoluta, cujo mecanismo se de senvolve através de transporte lateral em soluções e através de transporte vertical pela subida do lençol freático e capilaridade. A introdução do ferro e da argila entre os grãos de quartzo resulta num tipo de estruturação característica conhecida como "pseudo-areia". Esse fenômeno foi confirmado através de inspeção em microscópio eletrônico de varredura, conforme trabalho apresentado por Wolle e outros (1978);

- nível intermediário, heterogêneo em termos texturais e de coloração, correspondendo ao horizonte C pe dológico. Este nível apresenta alta concentração de argila e ferro transmitindo uma predominância de coloração vermelha com manchas claras, cuja intensidade aumenta gradativamente em profundidade, conforme evidenciado na FOTO 9. Pode ser caracterizado como um nível de concentração de argila e zona de variação do lençol freático; a contribuição do lençol freático no transporte e concentração de argila e ferro reveste-se de grande importância, sendo provavelmente o principal responsável pela não homogeneização deste nível;

FOTO 9 - Detalhe de uma amostra proveniente do nível intermediário em perfil de Latosol Vermelho Amarelo distrófico.

- nível inferior, correspondendo à parte inferior do horizonte C e horizonte R pedológico. Este nível apresenta apenas em sua porção superior indícios de concentração de argila e ferro, transmitindo uma coloração predominantemente cinza claro.

Tendo em vista a ocorrência, abaixo do depósito aluvionar de substrato calcário pertencente à Formação Sete Lagoas, admite-se que esta formação seja a principal responsável pelo fornecimento de elementos fundamentais para a ferralitização.

Por outro lado, o comportamento do lençol freático na região, mostra a possibilidade de uma contribuição importante de elementos migrados provenientes do depósito coluvionar. Com efeito, as medidas do nível d'água, realizadas através de sondagens mostram que a percolação de água se dá dos depósitos coluvionares para os terraços. Esse fato sugere que o processo de alteração, observado no depósito coluvionar e no substrato calcário, propiciou a liberação de elementos solúveis, onde se inclui o ferro na forma reduzida, sendo esses elementos conduzidos pelo lençol freático para posições de jusante. A variação vertical do lençol freático com excesso desses elementos, permite assim a precipitação do ferro nas zonas aeradas do depósito aluvionar.

Uma característica comum dos solos ferralitizados existentes no terraço superior é a existência de perfis

cô^m horizonte superficial muito pobre em argila e ferro e que em certas condições pode atingir espessuras de mais de um metro, conforme pode ser notado na FOTO 10.

Esta característica do horizonte superficial levou a definir-se por Areias Quartzosas distrô^ficas, solos distribuídos no terraço superior, cujo aspecto morfológico anteriormente descrito, é caracterizado pela presença de uma parte superior do perfil com aproximadamente 1,0 metro de espessura constituída por areia praticamente pura.

Uma hipótese que de imediato se levanta, para explicar a origem desse horizonte superficial constituído por areia praticamente pura, é que tenham ocorrido parcialmente no terraço superior, fenômenos de recobrimento mecânico por erosão, após ferralitização do depósito aluvionar. Outra explicação, está relacionada ao próprio desenvolvimento pedogenético desses solos, onde a migração de certos elementos da parte superior do perfil, pode promover a formação do horizonte superficial arenoso e pobre em argila e sesquióxidos. Este fenômeno foi constatado por Fauck (1972) em solos ferralitizados da África Ocidental sobre rochas sedimentares arenosas, onde as condições climáticas são muito próximas às observadas na região do Jaíba.

A primeira hipótese manifesta-se mais evidente, tendo em vista que as áreas de ocorrência das Areias Quart

FOTO 10 - Corte mostrando o perfil de Areias Quartzosas distróficas (QDd) distribuídas no terraço superior. Jazida de solo utilizado em aterros do canal principal do Projeto Jaíba.

FOTO 11 - Perfil de Areias Quartzosas dis-
tróficas (AQd) do terraço superior. Notar
a mudança de coloração da parte superior do
perfil para a parte inferior, devido ao au-
mento no teor de argila. Jazida de solo
utilizado em aterros do Canal principal do
Projeto Jaíba.

zosas distróficas no terraço superior, encontram-se em níveis topográficos ligeiramente mais baixos, permitindo concluir tratar-se de áreas anteriormente erodidas.

4 A APLICAÇÃO PARA A GEOLOGIA DE ENGENHARIA - O ZONEAMENTO GEOTÉCNICO

Pedologia e geotecnia têm o solo como elemento comum de estudo. Entretanto, os objetivos, métodos de análise e conceitos são diferentes, dificultando a correlação direta entre o mapa pedológico e as propriedades geotécnicas dos solos. Neste sentido, faz-se necessário uma interpretação da paisagem que leve em conta o conjunto dos elementos que a constitui, de maneira a entender os processos pedogenéticos atuantes nos diferentes solos, a distribuição pedológica e particularidades mineralógicas, físicas e químicas. Estes elementos de análise, se interpretados para o contexto da geotecnia, fornecem importantes informações orientativas às investigações geotécnicas. Os elementos de interpretação geopedológica devem, neste caso, ser orientados objetivando a delimitação de zonas geotecnicaamente homogêneas, de maneira a servir de referencial para as investigações geotécnicas.

A interpretação geopedológica, conforme realizada para a região do Distrito Agroindustrial do Jaíba (item 3.4), permitiu a reunião de solos geneticamente semelhantes sob a denominação de associações geopedológicas. Cada associação geopedológica reúne uma síntese do conhecimento integrado da geologia, geomorfologia e pedologia, permitindo assim um entendimento pormenorizado

dos perfis de solo. Dessa forma, as características físicas, químicas, mineralógicas e o correspondente comportamento mecânico dos solos foram definidos permitindo a delimitação das zonas geotecnicamente homogêneas.

Os estudos realizados permitiram a distinção na região de oito zonas ou unidades geotécnicas homogêneas, representadas na FIGURA 6.

Unidade geotécnica 1: fundo de dolinas e áreas alagadiças - As depressões superficiais foram identificadas através de fotointerpretação de fotografias aéreas, estando representadas no mapa geomorfológicos (Figura 3). Encontram-se dispersas na região, com maior densidade de ocorrência nos depósitos aluvionares da Formação das Vazantes. Estas áreas apresentam drenagem interna deficiente, condicionando a formação de solos pouco lixiviados e conseqüentemente com concentração de bases e sílica.

A unidade geotécnica nº 1 relaciona-se às depressões superficiais mais profundas observadas na região, em geral superiores a cinco metros, e a áreas alagadiças. A posição topográfica dessas áreas favorece um aporte considerável de material transportado por escorrimento superficial de água de chuva. Dessa forma, os solos relacionados à unidade geotécnica nº 1 apresentam teores relativamente altos em areias. São solos normalmente saturados em água durante praticamente o ano todo

Fig. 6- Mapa Geopedológico aplicado a Geologia de Engenharia (Zoneamento Geotécnico).

favorecendo a concentração de matéria orgânica, permitindo em muitos casos o desenvolvimento de solos hidromórficos. O desenvolvimento pedológico desses solos, favorecem também a formação de argilas do grupo 2:1, constatada por ensaios de difratometria de Raios-X (TABELA 15).

Unidade geotécnica 2: solos pouco desenvolvidos com domínio de argila e silte - Distribuem-se no terraço inferior, constituídos por sedimentos aluvionares argilosos de deposição atual. Correspondem a solos pedologicamente pouco evoluídos que mantêm as características físicas e químicas do material original. Foram identificados no mapa pedológico como Solos Aluviais eutróficos originados a partir de sedimentos argilosos. Apresentam pequena cobertura com aproximadamente 0,20 m de areia fina praticamente pura, e nas demais posições do perfil predominância de finos (argila e silte). O desenvolvimento pedológico desses solos condiciona a ocorrência ao longo do perfil de significativa quantidade de argilas do tipo 2:1.

Unidade geotécnica 3: solos pouco desenvolvidos com domínio de areia praticamente pura - Distribuem-se ao longo do terraço intermediário, e são constituídos por sedimentos aluvionares arenosos. Da mesma forma que a unidade anterior, correspondem a solos pedologicamente pouco evoluídos com características físicas e químicas

semelhantes ao material original. Pedologicamente foram classificados como Solos Aluviais eutróficos e Areias Quartzosas distróficas, originados a partir de sedimentos arenosos.

Os horizontes inferiores desses solos apresentam-se ligeiramente ferralitizados, transmitindo uma tonalidade avermelhada. Esse processo de ferralitização promove pequeno enriquecimento em argila caulinitica, não sendo entretanto suficiente para que o solo adquira comportamento plástico.

Unidade geotécnica 4: solos ferralitizados areno-argilosos com cobertura de areia praticamente pura - ocorrem em grande distribuição no terraço superior, identificados como Areais Quartzosas distróficas. O desenvolvimento pedogenético destes solos, conforme descrito no item 3.4.2., confere baixa concentração de argila caulinitica na parte superior do perfil e concentração relativamente elevada na parte inferior.

Unidade geotécnica 5: solos ferralitizados areno-argilosos - Distribuem-se no terraço superior, sendo pedologicamente identificados como Latosol Vermelho Amarelo distrófico. São solos evoluídos, profundos e ferralitizados, constituídos basicamente por areia fina e argila caulinitica. O teor em argila aumenta gradativamente em profundidade, não ultrapassando a 50%.

Unidade geotécnica 6: solos pouco lixiviados argilo-silto-arenosos - Ocorrem em áreas rebaixadas observadas tanto no terraço superior como nos depósitos coluvionares. Correspondem aos Cambissolos eutróficos, que, conforme descritos nos itens 3.4.1 e 3.4.2., apresentam concentração de argilas do grupo 2:1 principalmente nas partes inferiores do perfil.

Unidade geotécnica 7: solos ferratizados argilosos com pouca areia fina - Distribuem-se em áreas de ocorrência de sedimentos coluvionares, sendo pedologicamente classificados como Latosol Vermelho Escuro distrófico. São solos evoluídos, ferralitizados, constituídos basicamente por argila caulinítica e ilítica com pequena porcentagem de areia fina e silte.

Unidade geotécnica 8: afloramento de rochas e solos rasos - São áreas localizadas, intensamente erodidas, relacionadas a ocorrência de morros isolados e lajedos.

As Tabelas nºs 18 e 19 mostram os resultados de ensaios granulométricos, mineralógicos e mecânicos em amostras representativas das unidades geotécnicas homogêneas. A interpretação desses resultados, conforme resumo apresentado na Tabela nº 20, evidencia algumas características e comportamentos geotécnicos diferentes para cada unidade geotécnica homogênea, confirmando a validade do método utilizado. A análise dos resultados

TABELA 18 - Características texturais, mineralógicas e mecânicas das unidades geotécnicas homogêneas

UNIDADE GEOTÉCNICA HOMOGÊNEA (UG)	UNIDADE PEDOLÓGICA	AMOSTRA ANALISADA PROFUNDIDADE (m)	GRANULOMETRIA (%)					PEDRE GULHO	MINERALOGIA DA ARGILA					LIMITE DE CONSISTÊNCIA			SISTEMA UNIFICADO CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS
			ARGILA	SILTE	AREIA FINA	AREIA MÉDIA	AREIA GROSSA		K	I	V	E	I - E	LL %	LP %	IP %	
UG-1	Solos Aluviais eutróficos textura média (fundo de dolina)	1(0,0 -0,30)	29,0	21,0	44,0	5,0	1,0	-	++++	+	-	-	-	28	13	15	CL
		2(0,30-1,00)	27,0	16,0	46,0	5,0	2,0	4,0	++++	+	-	+	-	28	13	15	CL
UG-2	Solos Aluviais eutróficos textura argilosa	3(0,0 -0,60)	14,0	6,0	64,0	15,0	0,8	0,2	++++	+	-	-	-	20	12	8	SC
		4(0,0 -0,47)	80,0	14,0	5,0	1,0	-	-	+++	++	++	-	-	73	30	43	CH
UG-3	Areias Quartzosas distróficas	5(0,47-1,22)	73,0	21,0	5,0	1,0	-	-	+++	++	++	+	-	68	29	39	CH
		6(0,0 -0,38)	8,0	2,0	54,0	36,0	-	-	++++	tr	tr	-	-	-	-	NP	SM
		7(0,38-2,30)	9,0	3,0	52,0	36,0	-	-	++++	tr	tr	-	-	-	-	NP	SM
	Solos Aluviais eutróficos textura arenosa	8(2,30-3,24)	10,0	14,0	64,0	12,0	-	-	++++	tr	tr	-	-	-	-	NP	SM
		9(0,0 -0,58)	7,0	1,0	84,0	8,0	-	-	++++	-	-	-	-	-	-	NP	SM
		10(1,40-1,98)	7,0	2,0	83,0	8,0	-	-	++++	-	-	-	-	-	-	NP	SM
	Solos Aluviais eutróficos textura arenosa	11(0,0 -1,0)	6,0	3,0	83,0	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NP	SM
		12(1,0 -2,0)	5,0	4,0	83,0	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NP	SM
		13(2,0 -3,0)	4,0	4,0	85,0	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NP	SM
		14(3,0 -4,0)	5,0	4,0	83,0	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NP	SM
	Areias Quartzosas distróficas	15(0,0 -0,50)	10,0	2,0	70,0	18,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NP	SM
		16(1,0 -1,50)	13,0	2,0	51,0	34,0	-	-	-	-	-	-	-	16	8	8	SC
		17(1,50-2,0)	14,0	2,0	55,0	29,0	-	-	-	-	-	-	-	16	8	8	SC
UG-4	Areias Quartzosas distróficas	18(0,50-1,0)	18,0	1,0	59,0	22,0	-	-	-	-	-	-	-	19	8	11	SC
		19(1,50-2,0)	22,0	2,0	56,0	20,0	-	-	-	-	-	-	-	21	10	11	SC
		20(3,0 -3,50)	18,0	6,0	54,0	22,0	-	-	-	-	-	-	-	23	12	11	SC
	Areias Quartzosas distróficas	21(0,50-1,0)	15,0	4,0	59,0	22,0	-	-	-	-	-	-	-	18	10	8	SC
		22(1,0 -1,50)	20,0	2,0	58,0	20,0	-	-	-	-	-	-	-	19	9	10	SC
		23(2,0 -2,50)	20,0	4,0	56,0	20,0	-	-	-	-	-	-	-	22	14	8	SC
	Areias Quartzosas distróficas	24(0,0 -0,50)	18,0	4,0	38,0	40,0	-	-	++++	tr	-	-	-	24	11	13	SC
		25(0,50-3,0)	15,0	11,0	54,0	19,0	1,0	-	++++	tr	-	-	-	29	15	14	SC
UG-5	Areias Quartzosas distróficas	26(0,50-1,20)	18,0	4,0	52,0	25,0	1,0	-	-	-	-	-	-	23	11	12	SC
		27(0,0 -0,50)	27,0	4,0	55,0	13,0	1,0	-	-	-	-	-	-	28	15	13	SC
		28(0,50-2,40)	32,0	6,0	48,0	13,0	0,8	-	++++	tr	tr	-	-	34	17	17	SC
	Latosol Vermelho Amarelo distrófico textura média	29(2,40-4,90)	17,0	23,0	48,0	11,0	1,0	-	-	-	-	-	-	36	18	18	SC
		30(4,90-5,80)	17,0	22,0	49,0	11,0	1,0	-	-	-	-	-	-	40	20	20	SC
		31(5,80-6,70)	10,0	20,0	60,0	9,0	1,0	-	-	-	-	-	-	40	22	18	SC
		32(6,70-7,90)	21,0	18,0	50,0	10,0	0,6	-	++++	tr	tr	-	-	38	22	16	SC

LEGENDA

++++	> 80%	tr	traços	I-E	camada mista ilita-esmectita
+++	80% a 60%	K	caulinita	LL	limite de liquidez
++	60% a 40%	I	ilita	LP	limite de plasticidade
+	40% a 20%	V	vermiculita	IP	índice de plasticidade
+	< 20%	E	esmectita		

TABELA 19 - Características texturais, mineralógicas e mecânicas das unidades geotécnicas homogêneas

UNIDADE GEOTÉCNICA HOMOGÊNEA (UG)	UNIDADE PEDOLÓGICA	AMOSTRA ANALISADA PROFUNDIDADE (m)	GRANULOMETRIA (%)					PEDRE GULHO	MINERALOGIA DA ARGILA					LIMITE DE CON- SISTÊNCIA			SISTEMA UNIFICADO CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS
			ARGILA	SILTE	AREIA FINA	AREIA MÉDIA	AREIA GROSSA		K	I	V	E	I - E	LL %	LP %	IP %	
UG-5	Latosol Vermelho Ama- relo distrófico tex- tura média	33(0,20-1,00)	44,0	5,0	43,0	7,0	1,0	-	++++	tr	tr	-	-	42	21	21	CL
		34(2,00-2,50)	32,0	15,0	46,0	6,0	1,0	-	++++	tr	tr	-	-	44	25	19	CL
	Latosol Vermelho Ama- relo distrófico tex- tura média	35(0,00-0,40)	28,0	6,0	62,0	3,0	1,0	-	-	-	-	-	-	27	13	14	SC
		36(0,40-0,76)	31,0	5,0	60,0	3,0	1,0	-	++++	-	-	-	tr	29	10	19	SC
		37(1,20-1,76)	37,0	5,0	55,0	2,0	0,5	-	++++	-	-	-	tr	33	12	21	SC
		38(1,76-2,16)	34,0	7,0	56,0	1,5	1,0	-	++++	-	-	-	tr	34	12	22	SC
		39(2,16-2,85)	30,0	10,0	53,0	5,0	1,5	-	++++	-	-	-	tr	32	15	17	SC
	Latosol Vermelho Ama- relo distrófico tex- tura média	40(1,00-1,20)	41,0	12,0	36,0	10,0	1,0	-	-	-	-	-	-	38	21	17	CL
		41(1,80-2,00)	34,0	14,0	42,0	10,0	-	-	-	-	-	-	-	37	22	15	CL
		42(3,00-3,20)	27,0	19,0	45,0	8,0	1,0	-	-	-	-	-	-	39	23	16	CL
		43(4,00-4,20)	28,0	23,0	40,0	8,0	1,0	-	-	-	-	-	-	37	21	16	CL
		44(5,00-5,20)	19,0	21,0	43,0	10,0	6,0	1,0	-	-	-	-	-	37	22	15	CL
	Latosol Vermelho Ama- relo distrófico tex- tura média	45(0,70-0,90)	29,0	5,0	49,0	17,0	-	-	-	-	-	-	-	28	15	13	SC
		46(1,60-1,80)	29,0	7,0	49,0	15,0	-	-	-	-	-	-	-	29	15	14	SC
		47(2,50-2,70)	24,0	10,0	53,0	13,0	-	-	-	-	-	-	-	28	16	12	SC
		48(4,00-4,20)	13,0	17,0	57,0	13,0	-	-	-	-	-	-	-	29	16	13	SC
		49(4,80-5,00)	22,0	16,0	49,0	13,0	-	-	-	-	-	-	-	30	16	14	SC
UG-6	Cambisol eutrófico substr. sedim. argilo- sos	50(0,30-0,50)	52,0	10,0	31,0	6,0	1,0	-	-	-	-	-	-	45	19	26	CL
		51(0,15-0,45)	62,0	11,0	23,0	3,0	1,0	-	++++	+	+	-	-	47	20	27	CL
	Cambisol eutrófico fase sedimentos argi- losos	52(0,50-0,70)	67,0	21,0	9,0	3,0	-	-	++++	tr	+	-	-	51	24	27	CH
		53(0,20-0,52)	63,0	18,0	12,0	5,0	2,0	-	++++	+	-	-	++	49	25	24	CH
	Cambisol eutrófico fase substrato calcá- rio	54(0,52-0,73)	28,0	6,0	9,0	23,0	26,0	8,0	+++	+	-	-	+++	59	21	38	SC
		55(0,10-1,00)	69,0	12,0	8,0	8,0	2,0	1,0	++++	+	-	-	+	60	24	36	CH
		56(1,00-1,63)	68,0	13,0	7,0	8,0	3,0	1,0	+++	+	-	-	++	57	24	33	CH
		57(2,05-2,58)	43,0	16,0	13,0	18,0	8,0	2,0	++++	+	-	-	+	52	24	28	CH
		58(0,00-0,50)	35,0	9,0	24,0	18,0	13,0	1,0	++++	-	-	-	+	51	20	31	SC
	Cambisol eutrófico A chernozêmico	59(0,50-0,87)	40,0	4,0	24,0	20,0	11,0	1,0	++++	-	-	-	+	46	21	25	SC
		60(0,87-1,40)	34,0	6,0	23,0	20,0	15,0	2,0	++++	+	-	-	+	46	19	27	SC
		61(1,40-1,60)	27,0	8,0	21,0	16,0	18,0	10,0	++++	+	-	-	+	47	20	27	SC
	Cambisol eutrófico fase substrato calcá- rio (transição p/ La- tosol).	62(0,05-0,40)	60,0	21,0	9,0	9,0	1,0	-	+++	+++	-	-	-	49	26	23	CL
		63(0,70-1,00)	54,0	22,0	14,0	9,0	1,0	-	+++	+++	-	-	-	46	21	25	CL
	Cambisol eutrófico fase substrato calcá- rio (transição para Latosol Vermelho Es- curo)	64(0,15-0,53)	62,0	20,0	12,0	5,0	1,0	-	+++	+++	-	-	+	50	19	41	CH
		65(0,53-1,65)	52,0	28,0	12,0	6,0	1,8	0,2	+++	++	-	-	+	53	23	30	CH
		66(1,65-1,82)	50,0	26,0	13,0	7,0	3,0	1,0	+++	++	-	-	+	49	20	29	CL
UG-7	Latosol Vermelho curo distrófico	Es 67(0,30-1,00)	64,0	19,0	10,0	5,0	1,0	1,0	++++	++	-	-	-	49	25	24	CL
		68(1,00-1,40)	58,0	24,0	10,0	5,0	2,5	0,5	++++	++	-	-	-	49	27	22	CL

LEGENDA

++++	> 80%	tr	traços	I-E	camada mista illita-esmectita
+++	80% a 60%	K	caulinita	LL	limite de liquidez
++	60% a 40%	I	illita	LP	limite de plasticidade
+	40% a 20%	V	vermiculita	IP	índice de plasticidade
-	< 20%	E	esmectita		

TABELA 20 - Características geotécnicas e previsão de comportamento das unidades geotécnicas homogêneas.

UNIDADE GEOTÉCNICA	PLASTICIDADE	ATIVIDADE COLOIDAL	COMPACTAÇÃO (PROCTOR NORMAL)			PREVISÃO DO COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO	
			UMIDADE ÓTIMA (%)	MASSA ESPEC. APAR. MÁXIMA (g/cm³)	PERMEA BILIDADE DE	ATERRO	FUNDAÇÃO
UG-1	Média	Baixa a Média	-	-	Alta	Não servem para aterro	Suporte regular a mau, podem apresentar recalques excessivos.
UG-2	Alta	Média	-	-	Baixa	Não servem para aterro	Suporte regular a mau, podem apresentar recalques excessivos.
UG-3	Não Plástico	Baixa	-	-	Alta	Razoavelmente estáveis, somente devem ser usados quando misturados com material argiloso	Boa capacidade de suporte
UG-4	Média	Baixa	11 ± 3	1930 ± 10	Média	Razoavelmente estáveis, podem ser usados sob controle adequado durante exploração e compactação. Necessária proteção de taludes.	Boa capacidade de suporte
UG-5	Média a Alta	Baixa (média em profund.)	16 ± 3	1760 ± 10	Média	Estáveis, podendo ser usados em núcleos impermeáveis ou diques	Boa capacidade de suporte
UG-6	Alta	Média a Baixa	13 ± 3	1820 ± 100	Média	Não servem para aterro	Suporte regular a mau, podem apresentar recalques excessivos.
UG-7	Alta	Baixa	16 ± 3	1730 ± 100	Média	Estáveis, podendo ser usados em núcleos impermeáveis ou diques	Boa capacidade de suporte
PLASTICIDADE IP (%)		ATIVIDADE COLOIDAL	PERMEABILIDADE cm/seg		OBSERVAÇÃO: A atividade coloidal das unidades geotécnicas foi definida de acordo com Skempton (1953) como sendo a relação entre o índice de plasticidade e a porcentagem de argila com dimensões inferiores a 0,002 mm.		
Baixa: < 7		Baixa: < 0,75	Baixa: < 10 ⁻⁶				
Média: 7 a 17		Média: 0,75 a 1,25	Média: 10 ⁻⁶ a 10 ⁻³				
Alta: > 17		Alta: > 1,25	Alta: > 10 ⁻³				

obtidos conduziram às seguintes considerações principais:

19) Conforme pode ser verificado nas TABELAS 18 e 19, nem sempre observa-se uma correlação direta entre tipos pedológicos e unidades geotécnicas homogêneas. Os estudos realizados mostraram duas situações diferentes:

a) Uma unidade pedológica correspondente a várias unidades geotécnicas. Trata-se dos solos pouco evoluídos (Solos Aluviais eutróficos e Areais Quartzosas distróficas), cujas características texturais e mineralógicas mantêm íntima relação com o material subjacente do perfil, com variações importantes dependendo da profundidade. Assim, os Solos Aluviais eutróficos associados a sedimentos aluvionares argilosos correspondem à unidade geotécnica nº 2, enquanto que aqueles associados a sedimentos aluvionares arenosos correspondem à unidade geotécnica nº 3. Por outro lado, as Areias quartzosas distróficas relacionam-se às unidades geotécnicas 3 e 4, tendo em vista a variação nos teores de argila e silte observado em profundidade.

b) Uma unidade pedológica correspondendo univocamente a uma unidade geotécnica. Esta situação refere-se aos Cambissolos eutróficos, Ao Latosol Vermelho Amarelo distrófico e ao Latosol Vermelho Escuro distrófico.

Estas unidades pedológicas correspondem respectivamente às unidades geotécnicas 5, 6 e 7.

Os Cambissolos apresentam-se na região estudada como solos argilosos com teor relativamente alto em argila expansiva, que aumentam em profundidade.

Os Latosolos Vermelho Amarelo e Vermelho Escuro são solos ferralitizados apresentando alto grau de lixiviação. São portanto solos bastante similares quando a gênese reproduzindo em função disso uma certa semelhança no comportamento geotécnico. Entretanto, apresentam diferenças marcantes quanto ao material de origem conduzindo esses solos a apresentarem texturas diferentes e conseqüentemente algumas características geotécnicas específicas.

29) A presença de argilas expansivas do tipo vermiculita e esmectita, mesmo em pequenas quantidades interferem substancialmente no comportamento geotécnico.

Os estudos realizados identificaram presença de argilas expansivas nas unidades geotécnicas 2 e 6, ambas consideradas impróprias para utilização como aterro compactados e apresentando baixa capacidade de suporte (vide TABELA 20).

A FIGURA 7 mostra que em geral nota-se um nítido aumento no índice de plasticidade a medida em que se aumenta a porcentagem de elementos finos (argila e silte). Entretanto, as amostras provenientes das unidades geo

Fig.7 - VARIAÇÕES DO ÍNDICE DE PLATICIDADE EM FUNÇÃO DO TEOR DO SOLO EM ELEMENTOS FINOS - E DA NATUREZA DAS ARGILAS .

técnicas 2 e 6 revelam valores de plasticidade bem mais elevados, constatando duas tendências na relação entre o índice de plasticidade e porcentagem de finos: uma, representada pela curva situada na parte inferior da FIGURA 7, reúne unidades geotécnicas contendo solos com argilas do tipo caulinita e ilita; a outra tendência, representada pela curva situada na parte superior da Figura 7, reúne as unidades geotécnicas 2 e 6 cujos solos apresentam argilas do tipo caulinita, ilita, vermiculita e esmectita.

39) Na última coluna das Tabelas 18 e 19 é apresentada a classificação de solos segundo o Sistema Unificado de Casagrande. Esse método, tradicionalmente utilizado em estudos geotécnicos identifica os solos com base em suas características de textura e plasticidade.

Conforme pode ser observado, existe uma certa correspondência entre as unidades geotécnicas homogêneas e determinadas classes de solos. Entretanto, uma mesma classe de solos definida pelo Sistema Unificado pode corresponder a unidades geotécnicas diferentes, como pode ser observado por exemplo com as unidades geotécnicas 5 e 6. Nessas duas unidades predominam solos classificados como SC e CL, apesar de terem comportamentos geotécnicos completamente diferentes, conforme demonstrado na Tabela nº 20 .

Essa contradição da classificação de solos pelo Sistema Unificado, observada na região estudada, vem a confirmar trabalhos apresentados por Nogami (1980), confirmando a importante contribuição da interpretação geopedológica na definição das características geotécnicas.

49) O método de interpretação geotécnica utilizado mostrou-se viável em estudos preliminares onde se dispõe de poucos dados de investigação, servindo principalmente para um planejamento mais seguro de estudos geotécnicos subsequentes mais detalhados.

Com relação aos ensaios de laboratório requeridos, acredita-se serem suficientes as análises granulométricas, mineralógicas e limites de consistência. As unidades geotécnicas devem sempre ser definidas após a realização desses ensaios, evitando-se assim erros grosseiros de interpretação. Portanto, a interpretação geopedológica permite em primeira aproximação a reunião de solos geotecnicamente homogêneos, que devem ser confirmados após análise dos resultados dos ensaios de laboratório.

59) As unidades geotécnicas homogêneas, como pode ser observado, foram definidas tomando por base a interpretação do meio físico envolvendo as correlações possíveis entre os aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos dentro do contexto de evolução da paisagem. Dessa forma, cada unidade geotécnica

deve apresentar em subsuperfície certas particularidades próprias que se manifestam em comportamentos geotécnicos diferentes.

Neste sentido, as investigações de subsuperfície visando a implantação de obras civis, se realizadas a partir de uma carta geotécnica básica, tornam-se mais eficientes, não só nos seus aspectos qualitativos, como em economia de tempo e de sondagens.

As Figuras 8 e 9 apresentam seções geológico-geotécnicas representativas dos sedimentos aluvionares e coluvionares, distribuídos ao longo do traçado geométrico do Canal Principal de adução do Projeto Jaíba. Essas seções foram elaboradas com base em sondagens mecânicas e poços de investigação e tiveram como principal objetivo definir o comportamento dos diferentes materiais atravessados pelo canal no que se refere à resistência à escavação e comportamento como fundação.

As unidades geotécnicas homogêneas, preliminarmente definidas, serviram de referencial para a locação das sondagens e interpretação dos resultados obtidos. Neste sentido, em cada unidade geotécnica homogênea foi realizada pelo menos uma sondagem a percussão, de maneira a fornecer dados de resistência a penetração dos diferentes materiais atravessados. Entre as sondagens a percussão, foram realizadas sondagens a trado e poços de investigação, visando maior detalhamento das investigações, e fornecendo dados geológico-geotécnicos mais

UNIDADE GEOTÉCNICA	GRANULOMETRIA (VALORES MÉDIOS % ATÉ 5,0 m DE PROFUNDIDADE)				RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO (SPT) Nº DE GOLPES ATÉ 5,0 m DE PROFUNDIDADE	OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES
	ARGILA	SILTE	AREIA	PEDREGULHO		
UG-3	8	5	87	-	1 a 6	Concreções limoníticas somente observada a grandes profundidades, próximo ao calcário
UG-4	15	5	80	-	4 a 10	Parte superior até 2,0 m de profundidade constituída por areia praticamente pura cujo teor em argila aumenta em profundidade; observa-se raras concreções milimétricas de limonita ao longo do perfil
UG-5	25	6	70	-	5 a 20	Os teores em argila aumentam gradativamente em profundidade; presença de raras concreções milimétricas de limonita ao longo do perfil.
UG-6	60	15	23	2	10 a 40	Presença de grande quantidade de concreções milimétricas e centimétricas de limonita, distribuídas ao longo do perfil; pode ocorrer níveis de concentração de concreções limoníticas, normalmente próximo ao contacto com a rocha subjacente.

LEGENDA

SP-515 SONDADEGE A PERCUSSÃO Nº 515

UG-6 UNIDADE GEOTÉCNICA Nº 6

Fig. 8- SEÇÃO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICA REPRESENTATIVA DOS SEDIMENTOS ALUVIONARES (TERRAÇO SUPERIOR)

representativos para a elaboração de seções longitudinais de subsuperfície.

A análise dessas seções (FIGURAS 8 e 9), confirma a existência de comportamentos geotécnicos de subsuperfície diferentes para cada unidade geotécnica homogênea. Entre as principais conclusões pode-se destacar:

a) diferenças morfológicas (textura, cor, presença de concreções) entre as unidades geotécnicas homogêneas. Essas diferenças obviamente são mais marcantes quando se compara as unidades geotécnicas representativas dos sedimentos aluvionares com aquelas dos sedimentos coluvionares. Por outro lado, observa-se uma homogeneidade muito grande entre os materiais encontrados numa mesma unidade geotécnica;

b) nítida relação de origem dos solos encontrados na unidade geotécnica nº 4 com áreas do terraço superior que sofreram processos de remanejamento por erosão seguida por deposição de areia lavada. Essa evidência, observada com a elaboração da seção geológico-geotécnica (FIGURA 8) justifica a ocorrência das Areias Quartzosas distróficas no terraço superior, cujo desenvolvimento pedogenético foi abordado no item 3.4.2.;

c) a unidade geotécnica nº 6, tanto em áreas de ocorrência dos sedimentos aluvionares, como em sedimentos coluvionares, relaciona-se realmente à ocorrência de depressões superficiais, estando no primeiro ca

so associada a substrato sedimentar argiloso, e no segundo caso a presença em pequena profundidade do substrato calcário.

d) os sedimentos aluvionares apresentam espessuras consideravelmente maiores que os sedimentos coluvionares. A profundidade média dos depósitos aluvionares é de 20 metros, enquanto que dos depósitos coluvionares é de 5 metros. Em vista disso, escavações realizadas nas unidades geotécnicas distribuídas em sedimentos coluvionares podem facilmente atingir material rochoso constituído por calcário;

e) tendo em vista as particularidades geológico-geotécnicas mais importantes que podem interferir na construção do canal de adução, quais sejam, a resistência à escavação, comportamento como fundação e estabilidade de taludes, foi possível distinguir quatro trechos característicos:

- trecho inicial representado pelas unidades geotécnicas homogêneas nºs 3 e 4. Esse trecho apresenta como característica principal a presença de uma camada relativamente espessa de areia praticamente pura a pouco argilosa. Esse material, apesar de facilmente escavável e de apresentar boas características como fundação, comporta-se de maneira instável como talude natural, tendo em vista suas características de baixa coesão e consequen

temente alta susceptibilidade a erosão;

- trechos representados pela unidade geotécnica homogênea nº 5. Correspondem a sedimentos aluvionares bastante ferralitizados e argilosos com espessuras superiores a seis metros, distribuídos sobre areia praticamente pura ou argila de natureza aluvionar. O substrato calcário encontra-se em profundidades relativamente elevadas, superiores a 20 metros. Caracteriza-se portanto pela presença de materiais facilmente escaváveis; parte superior, até seis metros de profundidade, com comportamento estável em taludes naturais, e instável em profundidades superiores a seis metros, quando constituído por areia praticamente pura ou por argila aluvionar; apresenta bom comportamento como fundação, requerendo cuidados especiais apenas quando tratar-se da argila aluvionar, tendo em vista suas características de expansividade e por permitirem recalques excessivos;

- trechos representados pela unidade geotécnica homogênea nº 6. Correspondem a sedimentos aluvionares e coluvionares excessivamente argilosos, contendo argilo minerais expansivos. Em se tratando de sedimentos coluvionares, o substrato calcário encontra-se a pequenas profundidades, variando de 1 a 5 metros. Caracteriza-se portanto por apresentar cobertura sedimentar facilmente escavável, requerendo, entretanto, tratamentos especiais como taludes naturais e como material de fundação.

Escavações superiores a cinco metros podem encontrar ro
chas calcárias, somente escaváveis com utilização de es
plosivos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distribuição e tipologia dos solos, objetivo da Pedologia, constitui-se no mais sensível parâmetro indicativo das relações entre o substrato geológico e os agentes da dinâmica externa; os perfis pedológicos refletem com bastante clareza tanto a contribuição das litologias subjacentes, como sua posição na encosta, além dos elementos climáticos e de vegetação. O solo, sendo o reflexo da interação do meio com os elementos da dinâmica externa, está portanto intimamente relacionado com a paisagem, resultando de fundamental importância para a Geologia de Engenharia, o seu estudo dentro de um contexto mais amplo da paisagem, e não de maneira isolada.

A experiência de trabalho desenvolvida na região do Jaíba, conforme apresentada nesta dissertação de mestrado, veio a confirmar essas evidências. Realmente, o mêtodo de trabalho utilizado permitiu, com grande economia financeira e de tempo, interpretar o meio físico e compartimentar a região em unidades geotécnicas homogêneas, destacando-se as características geotécnicas fundamentais para a orientação das investigações de campo e laboratório.

A sistemática de trabalho adotada, mostrou-se de fundamental importância, principalmente nas fases iniciais de um projeto, onde o adequado conhecimento do

meio físico intervem racionalmente nas investigações geológico-geotécnicas, destacando-se entre os principais resultados obtidos que substanciam essa afirmativa, os seguintes:

1. A interpretação geotécnica preliminar forneceu uma visão mais ampla da região em relação às características e fenômenos geotécnicos, permitindo a delimitação em planta, de áreas com características geotécnicas semelhantes. Esse trabalho, sendo realizado a partir de interpretação de dados existentes, fotointerpretação, e trabalho de campo a nível de reconhecimento, foi concluído em tempo relativamente curto, permitindo uma atuação segura durante os trabalhos subsequentes.

2. Permitiu maior confiabilidade nas investigações geológico-geotécnicas de subsuperfície. O zoneamento geotécnico preliminar forneceu critérios seguros de locação de sondagens mecânicas e poços de investigação. A descrição e caracterização dos perfis tornaram-se de fácil conclusão, permitindo correlação segura com perfis vizinhos.

3. Permitiu grande economia em sondagens mecânicas. A locação de sondagens para investigação de subsuperfície ao longo dos canais principais e secundários, é convencionalmente realizada através de critérios geométricos

com espaçamentos regulares entre sondagens. Esse critério, para a representação de seções geológico-geotécnicas tecnicamente compatíveis com as informações necessárias, exige normalmente uma quantidade de sondagens muito grande.

Como exemplo ilustrativo, pode-se citar as investigações de subsuperfície realizadas ao longo do canal principal nº 2 do Projeto Jaíba, com extensão de 32 km. O critério adotado para a locação de sondagens, com base no zoneamento geotécnico preliminar, conduziu a um total de 50 sondagens a percussão e 100 sondagens a trado. Caso fosse adotado o critério geométrico para a locação de sondagens, pelo menos 100 sondagens a percussão e 500 sondagens a trado teriam sido realizadas.

4. Permitiu grande economia em ensaios de laboratório. Como exemplo, pode-se também citar estudos realizados ao longo do canal principal nº 2 do Projeto Jaíba. A pesquisa de jazidas de materiais para construção de aterros exige normalmente a realização de uma quantidade excessiva de ensaios geotécnicos de laboratório. Esses ensaios são realizados em amostras coletadas numa malha de sondagens geometricamente espaçadas, junto ao corpo de aterro projetado. Tendo em vista que o canal principal nº 2 do Projeto Jaíba foi totalmente concebido em aterro, o estudo de jazidas com a adoção desse

critério, seria praticamente inviável. Procurou-se então, com base no zoneamento geotécnico, direcionar a locação das jazidas ao longo do canal, minimizando substancialmente a quantidade de ensaios de laboratório.

5. Permitiu a previsão de comportamentos geotécnicos e da necessidade de ensaios geotécnicos especiais, de interesse para o Projeto.

Dentro deste aspecto, salienta-se a constatação da existência na área estudada do fenômeno de colapsividade. Essa constatação foi despertada pela ocorrência de rupturas no terreno de fundação em um trecho de canal construído no início da obra.

O fenômeno de colapsividade está provavelmente relacionado ao estado de estruturação do solo, adquirido em função do desenvolvimento pedológico do perfil. "Assim, Jennings (1957), estudando solos muito parecidos àqueles do Jaíba, na África do Sul, procura explicar o fenômeno por um arranjo estrutural no qual as partículas de areia estariam ligadas entre si através de verdadeiras pontes, formadas pelas partículas de silte e argilas, formando um conjunto de elevado índice de vazios e instável perante encharcamento, situação na qual esta estrutura se desmancharia dando origem a um novo arranjo mais compacto" (Wolle e outros, 1978).

A conceituação apresentada para o fenômeno de colapsividade sugere que a existência do fenômeno esteja

provavelmente relacionada ao processo pedogenético de desenvolvido sobre os sedimentos aluvionares da Formação das Vazantes. Esse processo, onde se destaca o enriquecimento progressivo de argila e ferro do depósito aluvionar arenoso, permite que esses elementos se comportem como verdadeiras "pontes" de ligação entre as partículas de areia quartzosa, formando um arranjo estrutural instável quando em contato com a água.

Neste sentido a interpretação geopedológica realizada é de fundamental importância para a orientação dos ensaios de caracterização e quantificação do fenômeno de colapsividade, servindo de base para a sua programação.

Outra particularidade geotécnica diagnosticada a partir da interpretação geopedológica foi a ocorrência de argilas expansivas em determinadas unidades geotécnicas homogêneas. Trata-se das unidades geotécnicas nº 1, 2 e 6. Neste aspecto, os solos associados à unidade geotécnica nº 6 mereceram atenção especial, por constituírem-se em ocorrências possíveis de serem usadas como materiais de empréstimo. Assim, para estes solos destacou-se a necessidade de realização, a diferentes profundidades do perfil, de ensaios de expansividade, visando melhor conhecer o seu comportamento como materiais de "empréstimo".

6. Permitiu um planejamento seguro nas investigações pa
ra materiais de aterro, com grande economia de tempo.

Tendo por base a interpretação geotécnica prelimi
nar, conforme descrita no item 4, foram programadas ao
longo dos canais principais, sondagens a trado visando
a coleta de amostras de solo para fins de caracteriza
ção geotécnica em laboratório. Foi possível, dessa for
ma, seleccionar preliminarmente as zonas geotécnicas ho
mogêneas potencialmente favoráveis à ocorrência de ma
teriais, geotecnicamente viáveis para utilização em
aterro compactado.

Assim, foram selecionadas para estudos geotécnicos
de laboratório mais detalhados, apenas as zonas geotéc
nicas distribuídas ao longo do terraço superior e do
depósito coluvionar. As demais áreas apresentam caracte
rísticas texturais e mineralógicas desfavoráveis à com
pactação em aterro.

O método utilizado, permitiu também orientar a
amostragem ao longo do perfil de sondagem, de maneira a
se garantir a coleta de amostras com características
geotécnicas diferentes. Assim, por exemplo, a zona geo
técnica homogênea nº 4, distribuída no terraço supe
rior, apresenta uma camada superficial de areia pratica
mente pura com aproximadamente 1,5 m, com caracte^rísti
cas geotécnicas desfavoráveis à compactação. Por outro
lado, as áreas representadas pela zona geotécnica ho
mogênea nº 6 apresentam nas partes inferiores do perfil,

concentração de argilas expansivas, cujo comportamento geotécnico é desfavorável, quando utilizados em aterros compactados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. 1965. A evolução geomorfológica. In: A Baixada Santista, aspectos geográficos. São Paulo, EDUSP. p.49-66.
- AB'SABER, A.N. 1969. Uma revisão do quaternário paulista: do presente para o passado. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, 31(4): 1-51.
- ATLAN, Y. & FELLER, C. 1980. Application de la pédologie à la caractérisation géotechnique de quelques sols fins du Sénégal. Bulletin de l'association Internationale de Géologie de l'ingénieur, Paris, (22): 233-240.
- BARROSO, J.A. et alii 1981. Correlações de características genéticas de solos e as suas propriedades geotécnicas In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS em ENGENHARIA, Rio de Janeiro, 1981. Anais ... Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, CNPq, ABMS. p.179-186.
- BENVENUTO, C. et alii 1981. Estudo da colapsividade dos solos das fundações dos canais do projeto de irrigação de Jaíba (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 3, Itapema/SC, 1981. Anais... São Paulo, ABGE. v.1, p.401-416.

- BIRKELAND, P.W. 1974. Pedology, Weathering, and geomorphological research. Boulder, Department of Geological Sciences, University of Colorado - 285p.
- BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. 1976. Natureza e propriedades dos solos. Rio de Janeiro, Freitas Bastos.
- BUNTING, B.T. 1971. Geografia do solo. Rio de Janeiro, Zahar. 259p.
- CAMARGO, F.P. 1976. Geologia de engenharia. Construção Pesada, 6 (61): 101-102, fev.
- CARVALHO, A. & ROTTA, C.L. 1974. Estudo das formações superficiais do município de Atibaia, São Paulo. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo, (49): 5-22.
- CARVALHO, A. et alii. 1981. Caracterização mineralógica e geotécnica de alguns solos lateríticos desenvolvidos sobre basaltos na Bacia do Paranã. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO de SOLOS TROPICAIS em ENGENHARIA, Rio de Janeiro, 1981. Anais... Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, CNPq, ARMS. p. 340-381.
- CHAUVEL, A. & NOBREGA, M.T. 1980. Comportamento dos solos argilosos desenvolvidos sobre basaltos do Brasil Meridional após tratamento com cal. In: REUNIÃO ABERTA da INDÚSTRIA da CAL, 4, 1980. Boletim 12, p. 125-126.

- DEERE, D.V. & PATTON, F.D. 1971. Slope stability in residual soils. In: PANAMERICAN CONFERENCE on SOIL MECHANICS and FOUNDATION ENGINEERING, 4, Puerto Rico, 1971. Proceedings... New York, ASCE. v.1, p.87-170. 11.
- DUCHAUFOR, P. 1968. L'evolution des sols;essai sur la dynamique des profiles. Paris, Masson. 91p.
- DUCHAUFOR, P. 1977. Pedologie; pedogenese et classification. Paris, Masson. v.1.
- EMPRESA BRASILEIRA de PESQUISA AGROPECUÁRIA. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. 1976. Levantamento de reconhecimento com detalhes dos solos do Distrito Agroindustrial de Jaíba, Minas Gerais, Belo Horizonte. (EMBRAPA/EPAMIG/RURALMINAS. Boletim Técnico, 54).
- ERHART, H. 1956. La genese des sols extant que phénomène, géologique; esquises d'une théorie géologique et géochimique, biostasie et rhesistasie. Paris, Masson. 90p. (Collection Evolution des Sciences).
- FAUCK, R. 1972. Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique Occidentale. Paris, ORSTOM. 257p. (Memories, 61).

FAURE, A. 1980. Comportamento mecânico das argilas em função da sua natureza: formulação de uma nova concepção de plasticidade e liquidez. In: REUNIÃO ABERTA da INDUSTRIA da CAL, 4, 1980. Boletim 12, p.100-123.

GRIM, R.E. 1953. Clay mineralogy. New York, McGraw-Hill. 384p. il.

HARDER, H. 1971. Quartz and clay mineral formation at surface temperature. Göttingen, Sediment Petrographisches Institut du Universität Göttingen.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1976. Estudos geológico-geotécnicos para consolidação dos trechos ferroviários Lages-Gal.Luz, Mafra-Lages e Mafra-Ponta Grossa. São Paulo, DMGA. (IPT Relatório nº 8866).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1977. Reconhecimento geológico de superfície de área de interesse à implantação do projeto de irrigação do Distrito Agro-Industrial de Jaíba, Município de Manga, MG. São Paulo, DMGA. (IPT Relatório nº 10293).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1979. Estudo de viabilidade técnico-econômico de irrigação das microrregiões Sertão Alagoano e Batalha-AL. São Paulo, DMGA. (IPT Relatório nº 12333).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1979. Estudos geológico-geotécnicos da área de domínio do canal principal 2-30 000 ha do projeto Jaíba, Manga, MG. São Paulo, DMGA. (IPT Relatório nº 12 704).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1980. Revisão dos procedimentos adotados pela seção de Estradas em estudos de estabilidade de taludes. Projeto interno. São Paulo, DMGA (IPT Relatório nº 13 215).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1982. Estudos de pré-viabilidade para aproveitamento dos recursos de água e de solos da região semi-árida do Estado de Sergipe. São Paulo, DMGA (IPT Relatório nº 16 138).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1982. Gênese, distribuição e estratigrafia dos depósitos cenozóicos do Estado de São Paulo, São Paulo. DMGA. (IPT Relatório nº 16 869.)

JENNINGS, J.E. & ROBERTSON, A.G. 1969. The stability of slopes cut into natural rock. In: ICSMFE, 7th., México, 1969. Proceedings, v.2, p.585-590.

LEINZ, V. & LEONARDOS, O.H. 1970. Glossário geológico. São Paulo, Ed. Nacional/EDUSP. 236p.

LOPES, F.O. 1977. Caracterização de latossolos vermelho escuro no Norte de Minas Gerais. Viçosa. (Dissertação de mestrado (UFV)).

MARCONI, A. & ABRAHÃO, I.O. 1976. Mineralogia e granulometria de três latossolos da região do médio Rio São Francisco, BA. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 33: 415-428.

MELFI, A.J. & PEDRO, G. 1977. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil, parte 1 caracterização dos principais tipos da evolução pedoquímico. Revista Brasileira de Geociência, 7: 271-286.

MELFI, A.J. & PEDRO, G. 1978. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil; parte 2 considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos no Brasil. Revista Brasileira de Geociências, 8: 11-12.

- MELFI, A.J. 1978. Natureza e origem das constituintes secundárias dos solos desenvolvidos sobre as rochas básicas da Bacia do Paraná. Cerâmica, 24 (105): 347-354.
- MILNE, G. 1936. A provisional soil map of last Africa. s.l., s.c.p. (Amani Memoirs, 28).
- MODENESI, M.C. 1980. Intemperismo e morfogênese no Planalto de Campos do Jordão, SP. Revista Brasileira de Geociência, São Paulo, 10 (3): 213-225.
- MONIZ, A.C. 1972. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono/EDUSP. 459p.
- NOGAMI, J.S. 1967. Os solos residuais do Estado de São Paulo, sua caracterização em bases geológicas para finalidades rodoviárias. São Paulo. (Tese de Doutorado apres.
- NOGAMI, J.S. 1970. Classificação e terminologia para macroestruturação natural de solos. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 2, São Paulo, 1970. Anais... São Paulo, APGA. v.2, tema 2, p. 55-68. il.
- NOGAMI, J.S. 1971. A importância da suplementação dos resultados geotécnicos para finalidades rodoviárias, com dados geológicos e correlatos. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 47p. (IPR. Publicação 516).

NOGAMI, J.S. 1976. Necessidade de adequada caracterização genética de solos para finalidade rodoviária. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 1, Rio de Janeiro, 1976. Anais... Rio de Janeiro ABGE, v.1, tema.1, p.19-26. il.

NOGAMI, J.S. 1980. Caracterização e classificação geral de solos para pavimentação: limitações do método tradicional, apresentação de uma nova sistemática. In: REUNIÃO ANUAL de PAVIMENTAÇÃO, 15, Belo Horizonte, 1980. Atas... Belo Horizonte.

NOGAMI, J.S. & VILLIBOR, D.F. 1981. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO de SOLOS TROPICAIS em ENGENHARIA, Rio de Janeiro, 1981. Anais... Rio de Janeiro COPPE/UFRJ, CNPq, ABMS. ABMS. p. 30-41.

OLIVEIRA, A.M.S. 1981. Estudo da percolação d'água em maciços rochosos para o projeto de grandes barragens, São Paulo. 197p. (Dissertação de metrado. Instituto de Geociências. USP).

ORGANIZACION de las NACIONES UNIDAS para la AGRICULTURA y la ALIMENTACION. 1971. Mapa mundial de suelos 1:5 000 000. Paris, UNESCO-FAO. v.4.

PAQUET, H. 1970. Evolution géochimique des minéraux argileuse dans les altérations et les sols des climats méditerranéens tropicaux à saisons contrastées.

- Strausbourg, Université Louis Pasteur, Institut de Géologie. 212p. (Mémoires du service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine, 54).
- PEDRO, G. 1966. Essais sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles. C.R.Ac.Sc., Paris, (292D). 1828-1831.
- PEDRO, G. 1980. Papel e influência das características mineralógicas sobre as modalidades de organização dos materiais argilosos nas condições de meio superficial. In: REUNIÃO ABERTA da INDÚSTRIA da Cal, 4, São Paulo, 1980. Boletim, São Paulo, ABPC, (2): 14-59.
- PONÇANO, W.L. et alii. 1979. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT. 10p. (IPT.Publicação interna).
- POUQUET, J. 1966. Les sols et la géographie; initiation géopedologique. Paris, Place de la sorbonne. 266p. (Société d'Édition d'Enseignement supérieur, 5).
- PRINCIPI, P. 1964. Geopedology; studio dei terreni naturali ed agrari. Roma, Ramo Ed. Degli Agricoltori. 578p.

QUEIROZ NETO, J.P. de . 1974 . Solos e pedossolos do Estado de São Paulo e suas interpretações paleogeográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, Porto Alegre, 1974. Anais... Porto Alegre, SBG. v.3, p.173 181.

QUEIROZ NETO, J.P. de & JOURNAUX, A. 1978. Carta do modelado e das formações superficiais do médio Vale do Rio Parateí, SP. São Paulo, IGEOG/USP. 34p. il. (Sedimentologia e Pedologia, 9).

QUEIROZ NETO, J.P. & MODENESI, M.C. 1973. Observações preliminares sobre as relações entre os solos e a geomorfologia na área de Itū. São Paulo, IGEOG/USP. 28 p.il. (Sedimentologia e Pedologia, 3).

QUEIROZ NETO, J.P. de et alii. 1973. Cronologia da alteração dos solos da região de Marília, SP. São Paulo, IGEOG/USP. 52p. il. (Sedimentologia e Pedologia, 5).

RANZANI, G. et alii. 1972. Concreções ferruginosas, paleosolo e a superfície de cimeira no Planalto Ocidental Paulista. São Paulo, IGEOG/USP. 28p. il. Geomorfologia, 31).

RODRIGUES e SILVA, F.B.R. 1982. Alteração de rochas do Grupo Bambuí, solos e processos pedogenéticos.s.l. (Seminários gerais, mimeografado).

SAAD, A.M. et alii. 1978. Contribuição dos estudos geológico-geotécnicos para implantação do projeto de irrigação do distrito agroindustrial de Jaíba, Município de Manga, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 2, São Paulo, 1978. Anais...São Paulo, ABGE. v.2, p.111-124.

SALOMÃO, F.X. de T. et alii. 1981. O estudo do meio físico como subsídio para a identificação de áreas potencialmente irrigáveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 3, Itapema/SC, 1981. Anais... São Paulo, ABGE. v.1, p.285-299.

SANEJOUAND, R. 1972. La cartographie géotechnique em France. Paris, Min. Equip. Logem. Dir. Amér. Fonc. Urban. A.R.M.I.N.E.S.L.C.P.C. 96p.

SANTOS, A.R. 1976. Por menos ensaios e instrumentação e por uma maior observação da natureza. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 1, Rio de Janeiro, 1976. Anais... Rio de Janeiro, ABGE. v.1, p.177-186.

SANTOS, M.T.N. dos et alii. 1981. Utilização da pedologia em um estudo geológico-geotécnico para implantação do projeto de irrigação do distrito agroindustrial do Jaíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 3, Itapema/SC, 1981. Anais...São Paulo, ABGE. v.1, p.401-416.

SERVIÇO NACIONAL DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. Comissão de Solos. 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo; contribuição à carta de solos do Brasil. Rio de Janeiro. 634p. (SNPA/CS. Boletim 12).

SETZER, J. 1949. Os solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, IBGE.

TESSIER, D. 1980. Papel e influência das condições físico-químicas do meio sobre o comportamento hídrico e a organização dos materiais argilosos. In: REUNIAO ABERTA da INDÚSTRIA da CAL, 4, São Paulo, 1980. Boletim, São Paulo, ABPC, (12): 60-99.

TOGNON, A.A. et alii. 1976. Metodologia para caracterização geotécnica de maciços basálticos em Túneis viários. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLIGIA de ENGENHARIA, 1, Rio de Janeiro, 1976. Anais... Rio de Janeiro, ABGE. v.2, p.453-467.

TRICART, J. 1965. Principes et Methodes de la geomorphologie. Paris, Masson. 496p.

VARGAS, M. 1974. Mecânica dos solos. São Paulo, EPUSP 203p.

WOLLE, C.M. 1980. Taludes naturais; mecanismos de instabilização e critérios de segurança. São Paulo. (Dissertação de mestrado. Escola Politécnica/USP).

WOLLE, C.M. et alii. 1978. Estudo preliminar da colap
sividade dos solos no projeto Jaíba, MG. In: CONGRES
SO BRASILEIRO de GEOLOGIA de ENGENHARIA, 2, São Pau
lo, 1978. Anais... São Paulo, ABGE. v.1, p.179-194.