

# Utilização de Solos Residuais Jovens Compactados em Construção de Barragens.

Guimarães, R.C. & Fleury, S.V., FURNAS; Jacintho, E. C. & Camapum de Carvalho. J., UnB.

**RESUMO:** A disponibilidade e a localização dos materiais de construção são fundamentais no projeto e construção de barragens, podendo ter significativo impacto econômico. Este artigo apresenta um breve histórico sobre a utilização de solos residuais jovens em maciços compactados de barragens brasileiras. Para isto foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o assunto, e selecionados oito empreendimentos que tiveram representativa utilização destes materiais de modo a traçar um panorama de suas principais vantagens e desvantagens.

**PALAVRAS-CHAVES:** Solos residuais, Barragens, Compactação.

## I. INTRODUÇÃO

Na construção de barragens a disponibilidade e a localização dos materiais de construção são fundamentais no custo do empreendimento. Entretanto, esses materiais nem sempre se encontram à distância ou em quantidade economicamente viáveis, o que pode tornar a utilização de materiais não convencionais (solos residuais jovens/saprolitos) uma alternativa, principalmente se provenientes de escavações obrigatórias, evitando a exploração de jazidas, que frequentemente provocam danos ambientais.

No laboratório a dificuldade em se trabalhar com esse tipo de material ocorre desde a preparação da amostra para a realização dos ensaios, já que o material é destorroado (conforme previsto em norma) e este procedimento faz com que ocorra a “descaracterização” do mesmo em relação a condição de utilização na obra. Dessa forma, os resultados obtidos nos ensaios em laboratório não coincidem com as características do solo em campo. Outra dificuldade que ocorre durante os estudos de controle de laboratório é que geralmente o diâmetro de boa parte do material é superior ao previsto para os equipamentos convencionais de laboratório.

Este artigo tem por objetivo apresentar um breve histórico sobre a utilização de solos residuais jovens compactados em barragens no Brasil, mostrando a evolução e as principais vantagens e desvantagens da utilização destes materiais.

## II. EMPREENDIMENTOS ANALISADOS

Foram selecionadas oito barragens que tiveram representativa utilização do solo residual, para embasar este breve histórico, sendo que as mesmas abrangem desde as primeiras obras, no início da década de 70 até a

última no final da década de 90. São elas: Paraibuna, Paraitinga, Capivara, Salto Santiago, Euclides da Cunha, Nova Avanhandava, Corumbá I e Manso.

### II.1. USINA HIDRELÉTRICA PARAIBUNA E BARRAGEM PARAITINGA

A Usina Hidrelétrica Paraibuna é composta por uma barragem com 94 m de altura na seção máxima, e comprimento de 585 m na crista. Sua construção iniciou-se em 1966 e terminou em 1973. A Barragem Paraitinga é composta por uma barragem com altura máxima de 104 m e comprimento de 586 m na crista. Sua construção iniciou-se em 1970 e terminou em 1975. As duas barragens estão situadas respectivamente nos rios Paraibuna e Paraitinga, no município de Paraibuna, no estado de São Paulo

Os solos utilizados na construção dos maciços das barragens e dos diques foram solos residuais de biotita-gnaïsse [1]. No dique de Paraibuna, apenas os materiais dos dois horizontes superiores foram empregados, tendo em vista que, na época da construção dessa obra (1964-1970), os solos silto-arenosos micáceos de alteração de biotita-gnaïsse não eram conhecidos no que se refere ao comportamento geotécnico e compactabilidade dos mesmos para serem utilizados na construção de barragens de terra. A disponibilidade desses materiais apelidados “siltões”, em grandes quantidades nas adjacências imediatas das barragens de Paraibuna e Paraitinga, levou a reconsideração de sua utilização como material de construção, tendo em vista a grande economia que se poderia obter com o uso dos mesmos pela redução da distância de transporte.

Estudos de campo realizados sobre aterros experimentais mostraram a exequibilidade da utilização desses materiais e a eficiência dos rolos tipo “tamping” (pad roller) na compactação dos mesmos.

A concepção original dessas obras previa a utilização preferencial de solos argilosos entre o maciço de enrocamentos de montante e o eixo da barragem, visando-se criar um núcleo impermeável. Porém a escassez desses materiais motivou a utilização de solos silto-arenosos na região de montante, sem prejuízo para o desempenho das obras quanto à percolação já que os mesmos são apenas ligeiramente mais permeáveis que os solos argilosos inicialmente previstos.

Os ensaios realizados durante o controle tecnológico das duas barragens seguiram os procedimentos convencionais, não sendo encontrados maiores detalhes sobre a execução dos mesmos nas bibliografias pesquisadas.

As lições fornecidas por estas experiências, ou seja, a utilização de siltes arenosos micáceos resultantes da alteração da biotita-gnaïsse, são [2]:

- Apresentam um ângulo de atrito interno de pelo menos 28° no estado compactado; o ângulo residual não é inferior a 26°;
- Apresentam coeficientes de permeabilidade bastante sensíveis às condições de compactação, porém sempre menores que  $1 \times 10^{-5}$  cm/s;
- Podem ser eficientemente compactados por rolos de impacto de três tambores, de 18 toneladas, dando 10 a 14 passadas sobre camadas fofas de 15 a 20 cm de espessura, a uma velocidade de 14 km/h.

## II.2. APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO DE CAPIVARA

O Aproveitamento Hidrelétrico de Capivara está localizado no Rio Paranapanema no município de Porto Capim. O período construtivo foi de 1970 a 1976.

O projeto original para a construção do maciço argiloso previa somente a utilização de três tipos de materiais argilosos denominados: sub-área A, sub-área B e sub-área C. A utilização do material “fundo de caixa de empréstimo” foi a alternativa econômica que se impôs, tendo em vista as grandes distâncias de transporte que obrigariam a exploração apenas do horizonte superior. Este solo era a camada superior do saprolito de basalto, não chegando a conter uma alta porcentagem de blocos de rocha alterada. Ele foi utilizado intensamente nas regiões montante e jusante da Barragem, sendo aplicado em camadas “sandwichadas” pelo material da sub-área C (argiloso).

O material utilizado na Barragem de Capivara, como nas Barragens de Paraibuna e Paraitinga, apresentava pouco material retido na peneira de  $\frac{3}{4}$ ” (19mm), portanto o controle tecnológico foi o convencional.

Para liberação das camadas compactadas, o laboratório de solos de campo utilizou o método Hilf. Posteriormente, utilizando os pontos de Hilf traçava-se a curva de Proctor. Quanto a determinação do peso específico “in situ”, foi realizada pelo método do cilindro biselado, apesar da existência dos fragmentos de basalto remanescente da operação de gradeamento em determinadas partes da praça.

Segundo a referência [3] por ocasião da inspeção do aterro experimental já compactado, foi aberto um poço para verificação do estado da estrutura formada, notando-se homogeneidade no maciço, ou seja, este material apresenta boa eficiência de compactação, e comportamento homogêneo, diferentemente de seu comportamento no estado natural.

Não foram encontrados resultados de resistência deste material, no entanto permeabilidades realizadas no laboratório mostraram que a mesma era da ordem de  $10^{-7}$  cm/s.

## II.3. USINA HIDRELÉTRICA DE SALTO SANTIAGO

O Aproveitamento Hidrelétrico de Salto Santiago compreende uma barragem principal de enrocamento com núcleo impermeável inclinado e 3 barragens auxiliares de terra e saprolito das quais, merece especial atenção a Barragem Auxiliar nº1.

A concepção original da Barragem Auxiliar nº1 era basicamente a de uma barragem de terra constituída por um núcleo de solo argiloso residual de basalto, espaldares de material saprolítico e enrocamento no pé de jusante. Esta concepção básica sofreu ligeira modificação com o objetivo de zonestar os espaldares, originalmente homogêneos, em função das características granulométricas distintas dos saprolitos extraídos das escavações.

A UHE de Salto Santiago está localizada no Rio Iguaçu nos municípios de Laranjeiras do Sul e Chopinzinho, Paraná. Sua construção iniciou-se em 1976 e terminou em 1980.

Nesta obra surgiram uma das dificuldades da aplicação destes materiais, a dificuldade de realizar o controle tecnológico quando os mesmos apresentam apreciável porcentagem de material retido na peneira de  $\frac{3}{4}$ ” (19 mm), na média variava de 5 a 53 %. A composição granulométrica dos saprolitos é variável, podendo ocorrer zonas com grande concentração de blocos de rocha alterada, da mesma forma que podem ocorrer bolsões mais intemperizados onde a porcentagem destes blocos atingia valores muito baixos [4].

Devido às características peculiares destes materiais, no controle tecnológico não foi possível utilizar métodos usuais da Mecânica dos Solos, o que levou à adoção de uma metodologia baseada no controle de compactação de materiais contendo cascalho, e que foi chamada de “Método da Densidade Ponderada”.

O Método da Densidade Ponderada relaciona a densidade aparente do material amostrado com sua densidade “in situ”, as quais, de acordo com a referência [4], eram determinadas da seguinte maneira:

A densidade “in situ” era determinada utilizando o método do “volume d’água”, sendo o material escavado, pesado e armazenado para posterior ensaio em laboratório. Para o ensaio de “volume d’água” eram realizadas escavações com uma profundidade aproximadamente igual à espessura da camada compactada. Através deste ensaio determinava-se o peso específico aparente “in situ” que consiste no quociente entre o peso e volume determinados  $\gamma_h = P/V$ .

Para determinação do ponto de controle, ou seja, o peso específico máximo que seria obtido com o material amostrado adotou-se a sistemática, de separar o material proveniente da cava em 3 frações, utilizando-se a peneira de 2” (50,0 mm) e a peneira de  $\frac{3}{8}$ ” (9,5 mm) da seguinte maneira:

- retido na peneira de 2” (50,0 mm) - Material A;
- passado na 2” (50,0 mm) e retido na peneira  $\frac{3}{8}$ ” (9,5 mm) - Material B;
- passando na peneira  $\frac{3}{8}$ ” (9,5 mm) - Material C.

Segundo a referência [4] a operação de peneiramento era feita manualmente, tomando-se o cuidado de não triturar demasiadamente a amostra, objetivando com isto garantir o máximo possível a integridade granulométrica e

representatividade do material amostrado. Em seguida obtinha-se a densidade absoluta pelo Método da Balança Hidrostática do Material A ( $\gamma_A$ ) - sem quarteamento da amostra - e do Material B ( $\gamma_B$ ) com quarteamento da amostra, visto que esta fração (B) apresenta volume relativo bem maior que as demais. A densidade seca máxima na umidade do aterro do Material C ( $\gamma_C$ ), era determinada através do Método Hilf. A densidade máxima aparente do material era obtida efetuando-se a média ponderada das densidades A, B e C, tendo como peso as porcentagens retidas nas peneiras respectivas, da seguinte maneira:

$$\gamma_{h \max} = \frac{\%A \times \gamma_A + \%B \times \gamma_B + \%C \times \gamma_C}{100} \quad (1)$$

A referência [4] ressalta porém, que o Método da Densidade Ponderada no controle tecnológico de compactação de saprolitos apresenta algumas deficiências, ainda não solucionadas:

- ✓ O controle de compactação de materiais contendo fragmentos graúdos é relativamente complexo e trabalhoso, pela necessidade de se executar ensaios de compactação que exigem a representação apropriada da fração superior a um determinado diâmetro, a qual deve ser obrigatoriamente eliminada da amostra utilizada para viabilizar a realização do ensaio.
- ✓ Este método que é baseado na prática geralmente adotada para controle de compactação de materiais de gradação extensa contendo cascalho, não leva em conta a intensa fragmentabilidade da fração graúda do saprolito sob o efeito de impactos transmitidos pela compactação.

Os saprolitos são constituídos, no estado natural, por fragmentos de rocha em diversos estados de alteração (desde extremamente alterada até pouco alteradas). Conseqüentemente, qualquer energia aplicada a estes materiais, mesmo pouco intensa, consegue quebrar os fragmentos e assim modificar substancialmente a composição granulométrica dos mesmos, dificultando sobremaneira a análise de ensaios de compactação e determinação dos graus de compactação [4].

A permeabilidade deste material varia em função da granulação da amostra, entre  $10^{-5}$  cm/s para solos mais grossos (saprolito duro) e  $10^{-7}$  cm/s nos solos mais finos (solo saprolítico).

#### II.4. RECONSTRUÇÃO DA BARRAGEM DE EUCLIDES DA CUNHA

A Barragem de Euclides da Cunha está localizada no Rio Pardo no município de São José do Rio Pardo, estado de São Paulo.

Os primeiros estudos para a implantação da Barragem de Euclides da Cunha datam de 1952, tendo sido iniciada a sua construção em 1956. As obras civis somente foram concluídas em 1960, quando se iniciou a geração de energia elétrica através de duas das quatro máquinas instaladas. Em novembro de 1965 é que a usina realmente começou a funcionar com a sua potência nominal de 94800 kW. O comportamento da barragem apresentou-se perfeitamente normal durante o período de 1960 a 1977.

Na madrugada de 20 de janeiro de 1977, após um período excepcional de chuvas (aproximadamente 230 mm em 24 horas) houve um aumento considerável das vazões afluentes ao reservatório, causando transbordamento da barragem e, em conseqüência, a sua ruptura.

Na fase de reconstrução da Barragem de Euclides da Cunha, a escolha entre a utilização de argilas vermelhas coluvionares ou de solos saprolíticos gnaissicos constituiu uma decisão delicada. Com efeito, as argilas vermelhas já eram bem conhecidas uma vez que tinham sido utilizadas na primeira construção (1958-1960); porém eram economicamente penalizadas pela sua elevada distância de transporte. Ao contrário, os solos saprolíticos eram desconhecidos tanto no que diz respeito às suas características no estado compactado quanto no que se refere à sua compactabilidade; entretanto eram disponíveis a pouca distância, inclusive na área de empréstimo, chamada "exaurida", utilizada na primeira construção.

Para verificar o comportamento destes solos, foram feitos aterros experimentais, onde foi verificado que os solos saprolíticos de gnaisse utilizados no maciço da barragem apresentaram boa trabalhabilidade, rápido enquadramento à faixa de umidade de compactação, baixa tendência a pressões neutras (apesar da velocidade de construção e da umidade de compactação cerca de 2% acima da ótima) e características de resistência, permeabilidade e compressibilidade adequadas ao desempenho da barragem [5]. Este fato foi confirmado tanto em laboratório como "in situ", através de piezômetros instalados no maciço. As características de resistência, permeabilidade e compressibilidade dos saprolitos habilitaram-no à utilização na barragem, porém a erodibilidade destes solos foi fator preocupante. Por isso, o aterro foi projetado com um confinamento de argilas coluvionares compactadas [5].

O material utilizado na Barragem de Euclides da Cunha apresentava pouca porcentagem de material retido na peneira de  $\frac{3}{4}$ ", portanto o controle foi o convencional e apresentou ângulo de atrito entre 27 e 34° no estado compactado e coeficiente de permeabilidade em torno de  $10^{-6}$  cm/s [5].

#### II.5 APROVEITAMENTO MÚLTIPLO DE NOVA AVANHANDAVA

O APM Nova Avanhadava está localizado no Rio Tietê, município de Birigui-SP. A construção do empreendimento foi de 1979 a 1982.

Os solos constituintes da área de empréstimo da margem esquerda eram bastante argilosos, apresentando problemas com relação à trabalhabilidade, com reflexos na produção, devido ao alto índice de pluviosidade registrado. Estas dificuldades sugeriram um maior aproveitamento do saprolito, dadas as suas características de trabalhabilidade, a diminuição da área a ser explorada, a minimização das distâncias de transporte e ainda a possibilidade de se estudar estes materiais, visando o emprego de materiais similares em outras obras.

Com o objetivo de melhor conhecer as propriedades do saprolito, para uma aplicação mais ampla na Barragem de Nova Avanhadava, foi executado aterro experimental onde foi utilizada a metodologia construtiva anteriormente empregada na construção da ensecadeira [6]. Durante a construção do aterro foram realizados ensaios de cisalhamento direto “in situ” nas condições normal e inundado, ensaios de permeabilidade em cava “Matsuo” e ensaios de carregamento de placa circular.

Segundo a referência [6] além de tais ensaios “in situ”, colheu-se amostras para ensaios em laboratório de caracterização, compactação, cisalhamento direto, “ring shear” e adensamento. Houve concordância muito boa entre os resultados dos ensaios de cisalhamento direto “in situ” e de laboratório, estes realizados apenas com a fração fina ( $\phi < \text{peneira n}^\circ 4$ ), o que caracterizou (além do exame visual das superfícies de ruptura dos ensaios “in situ”) o condicionamento da fração fina à ruptura.

Por apresentar grande porcentagem de material grosso (até 60% de material retido na peneira  $\frac{3}{4}$ ”), não foi possível aplicar o controle convencional. o controle de compactação do saprolito seguiu os seguintes passos [6]:

- Determinação do peso específico “in situ” ( $\gamma$ ), pelo método filme de plástico e água. Este valor foi utilizado para liberação da praça.
- Determinação de F% e G% separados pela peneira n° 4 (4,76 mm), sem destorroamento
- Determinação do peso específico da fração grossa ( $\gamma_G$ ), pela balança hidrostática utilizando óleo.
- Determinação do teor de umidade da fração fina ( $h_F$ ).
- Ensaio de compactação sobre a fração fina.
- Cálculo de  $\gamma_{SF}$ , peso específico seco da fração fina, através da equação a seguir.

$$\gamma_{SF} = \frac{\gamma_{HT} - (\gamma_G \times G\%)}{(1 + h_F) \times F\%} \quad (2)$$

Em que:

$\gamma_{SF}$  = massa específica seca dos finos do aterro compactado

$\gamma_{HT}$  = massa específica úmida do saprolito compactado, determinada “in situ” pelo método do “anel/plástico/água”.

$\gamma_G$  = massa específica úmida dos fragmentos grossos (maiores que 4,8 mm)

G% = fração dos fragmentos grossos

F% = fração dos finos

$h_F$  = teor de umidade dos finos

Os resultados dos ensaios de permeabilidade realizados “in situ” mostraram que os saprolitos grossos são altamente permeáveis (k da ordem de  $10^{-2}$  cm/s) enquanto que os saprolitos finos são materiais semi-permeáveis (k da ordem de  $10^{-4}$  cm/s), porém sujeitos a mecanismos de segregação durante a execução das camadas tornando-os assim substancialmente mais permeáveis [2].

A permeabilidade determinada em ensaios de laboratório a carga variável não representa as condições de campo, pois o grau de destorroamento é maior. É de se esperar coeficientes de permeabilidade maiores no maciço compactado. No entanto, devido a massa de solo amolgado que envolve os blocos intactos, sua permeabilidade de campo ainda deve ser adequada para núcleo impermeável de uma barragem de enrocamento [7]. Estes materiais apresentaram ângulo de atrito em torno de 28°.

## II.6. APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO DE CORUMBÁ I

O empreendimento do AHE Corumbá é composto por uma barragem de enrocamento com núcleo de impermeabilização em solo com 90 m de altura na sua seção mais alta e 540 m de comprimento na crista. O AHE Corumbá I está localizado no Rio Corumbá no município de Caldas Novas em Goiás. O empreendimento começou a gerar em 1997.

Para construção do núcleo foram pesquisadas duas áreas de empréstimo, distantes 6,0 e 8,5 km do eixo da barragem, denominadas respectivamente “A” e “B”. Inicialmente estava prevista a utilização apenas dos solos coluvionares, o que obrigaria a exploração das duas áreas, pois a área mais próxima não dispunha de volume suficiente desse solo.

A necessidade de exploração da área de empréstimo mais distante estimulou o estudo em laboratório das propriedades geotécnicas dos solos subjacentes ao solo coluvionar da área de empréstimo “A”, composto de residuais de micaxisto. Paralelamente ao estudo em laboratório, foram executadas pistas experimentais, com o objetivo de verificar o comportamento dos solos residuais como material de construção do núcleo, e principalmente, um melhor conhecimento de sua trabalhabilidade.

Os resultados dos ensaios de laboratório, aliados a boa trabalhabilidade desses solos nas pistas experimentais, possibilitaram a utilização do solo residual da área de empréstimo “A”, e posteriormente a utilização dos solos residuais de micaxisto das escavações obrigatórias da ombreira esquerda, que inicialmente não estava contemplada no projeto.

O solo coluvionar, que inicialmente estava previsto para ser utilizado em todo o núcleo, foi utilizado nos primeiros 10 m do aterro da barragem na região do leito do rio, sendo que a utilização do solo residual de

micaxisto das escavações obrigatórias da ombreira esquerda resultou em uma diminuição de 15 % em volume do solo compacto proveniente da área de empréstimo “A”.

Por apresentar pouca porcentagem de material retido na peneira de  $\frac{3}{4}$ ”, foi utilizado o controle convencional (Hilf/Proctor).

A resistência destes materiais é em torno de 29°, sendo que o mesmo tem menor influência da variação de umidade, grau de compactação e tipo de ensaio quando comparado ao colúvio, mostrando que os maciços compactados com estes materiais são mais uniformes em termos de resistência e permite trabalhar numa faixa mais ampla destes parâmetros [8].

## II.6. APROVEITAMENTO MÚLTIPLO DE MANSO

O APM Manso está localizado no Rio Manso, no município Chapada dos Guimarães, no estado do Mato Grosso. Após a paralisação em 1989, a construção da obra foi retomada em fevereiro de 1998 estendendo-se até maio de 2001, quando entrou em operação a quarta e última unidade geradora.

As estruturas principais que compõe o APM Manso estão distribuídas ao longo do eixo da barragem, totalizando 3715 m de extensão, dos quais aproximadamente 150 m correspondem às estruturas de concreto e 3565 m às de terra e enrocamento.

O projeto básico da barragem e dos diques concebia maciços com seções de enrocamento com núcleo argiloso, sendo previsto a utilização de “Random” somente nos espaldares do dique 3 e no corpo do dique 4 [9]. As estruturas de terra e rocha do APM Manso apresentam três tipos de seção:

- ✓ Barragens de random com seção zonada utilizando materiais não convencionais caracterizados como random, compreendendo as Barragens da Margem Direita, da Margem Esquerda e diques;
- ✓ Barragens de enrocamento com núcleo de random, compreendendo a Barragem do Leito do Rio e abraços com muros de transição das estruturas de concreto; e
- ✓ Barragens mistas, de terra e rocha, que compreendem os trechos de transição das duas seções de random e enrocamento.

No início do Projeto Executivo estudos complementares comprovaram um acréscimo significativo do volume das escavações obrigatórias, ocasionando a obtenção de materiais com diferentes características geotécnicas. Com a aplicação destes materiais em pistas experimentais, execução da terraplanagem para implantação da Subestação Provisória e na construção do dique 3, com controles de campo e com ensaios laboratoriais foi possível a classificação do material “Random”. Tais procedimentos propiciaram subsídios e informações sobre a trabalhabilidade do material, como por exemplo, espessura da camada, número de passadas, tipo de rolos compactadores, etc., possibilitando uma utilização em grande escala destes materiais [9].

No projeto da barragem de enrocamento, o material (CL) previsto no projeto básico para o núcleo impermeável foi substituído por random fino. Os materiais (CL) eram escassos na área do projeto, a jazida de maior expressão se localizava a jusante, distante mais de 6,0 km dos locais de aplicação. A substituição deste material por random fino reduziu, consideravelmente, as distâncias de transporte, situando, portanto, em média, abaixo de 1,0 km [9].

O controle de qualidade dos materiais utilizados na construção das obras de terra e rocha, envolveu as seguintes atividades:

- controle de qualidade dos materiais nas áreas de empréstimo, jazidas e estoques, fontes de materiais rochosos e centrais de britagem;
- controle das escavações nas fundações;
- controle durante a construção de aterros, através de inspeção tátil-visual dos materiais lançados, controle do processo construtivo utilizado e controle dos parâmetros de compactação, por meio de ensaios específicos;
- controle geométrico dos maciços, sobretudo das transições, empreendidos sistematicamente através de levantamentos topográficos a cada camada lançada
- controle a posteriori dos aterros compactados, através da abertura de poço e trincheiras de inspeção, execução de ensaios de permeabilidade “in situ”, além da coleta de amostras deformadas e indeformadas para ensaios de laboratório.

Durante a construção dos aterros, procedeu-se ao controle de qualidade a partir da seleção do material na jazida, principalmente os materiais do tipo random, além do acompanhamento simultâneo do método construtivo, incluindo escavação, tratamento com correção de umidade na frente de obtenção, lançamento, espessura da camada, compactação etc. Em acréscimo, foram realizados rotineiramente ensaios geotécnicos de controle de qualidade, com o objetivo de aferir a eficiência e a uniformidade dos métodos construtivos empregados.

Foram construídos aterros experimentais para subsidiar o projeto na adequação das especificações técnicas e parâmetros geotécnicos dos materiais existentes, bem como para ajustar os métodos construtivos dos maciços compactados. Com base nestes estudos foram definidas duas metodologias diferentes para o controle do Radom Fino e do Random Grosso.

No controle Random Fino foi utilizado método Hilf/Proctor, ou seja método convencional, tendo-se cuidado somente durante a preparação: material passado na peneira  $\frac{3}{4}$ ” (torrões desmachados manualmente) substituiu o material retido na #  $\frac{3}{4}$ ”.

O Random Fino apresenta granulometria antes e após a compactação bem diferente, pois a maioria dos agregados são quebrados durante a compactação. O ângulo de atrito varia entre 34° e 35° e apresenta uma permeabilidade em torno de  $10^{-5}$  cm/s.

O Random Grosso apresenta mais de 50 % do material representado por pedregulho, pedra e matação (retido na peneira  $\frac{3}{4}$ ” entre 44 e 70%), portanto foi utilizado no controle o método de controle de enrocamento, ou seja, controle da densidade.

O Random Grosso apresenta permeabilidade bem maior que a do Random Fino entre  $10^{-3}$  e  $10^{-5}$  cm/s.

### III. CONCLUSÕES

O uso de solos residuais jovens em barragens foi implantado pela dificuldade de se encontrar materiais convencionais (colúvio e residual maduro) nas proximidades das obras e necessidade de utilizar materiais das escavações obrigatórias. Os diversos empreendimentos que utilizaram estes materiais mostraram que os mesmos podem ser utilizados pois apresentam boas propriedades, no entanto necessitam de estudos e cuidados especiais.

As principais vantagens da utilização de solos residuais jovens (saprolitos) são:

- Boa resistência ao cisalhamento;
- Resultados de campo geralmente superiores ao especificado, com boa eficiência de compactação;
- Boa trabalhabilidade e menor influência da variação da umidade, podendo ser aplicados em regiões com alto índice pluviométrico;
- Baixa tendência de desenvolver pressões neutras;
- Os parâmetros de resistência e deformabilidade são menos influenciados pela variação do grau de compactação e umidade, quando comparados aos solos coluvionares;
- Representam grande economia e impacto ambiental para o empreendimento, visto que geralmente são provenientes de escavações obrigatórias.

Como todo material os solos residuais jovens (saprolitos) apresentam alguns inconvenientes:

- Material geralmente erodível e de difícil plantio de grama, exigindo a colocação de uma faixa de solos argilosos para a proteção do talude de jusante;
- Permeabilidade sensível às condições de compactação e granulometria do material, que pode ser bastante variada;
- Pode apresentar grande variação granulométrica, o que dificulta o controle de campo e laboratório;
- As investigações e os estudos destes materiais são complexos e requerem cuidados especiais em todas as fases do projeto.

A revisão dos 8 empreendimentos analisados, mostrou que o controle deste material deve ser feito com cuidados especiais, sendo que cada local tem uma característica especial, principalmente quando a porcentagem de material retido na peneira  $\frac{3}{4}$ " é expressiva. Tem portanto, significativa importância a definição de metodologias específicas para estudos laboratoriais nesses materiais, bem como para o controle tecnológico em obra.

### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oliveira, H.G.; Bourdeaux, G.; Celeri, R. & Pacheco, I. (1976). Comportamento geotécnico das barragens e diques de Jaguari, Paraibuna e Paraitinga. XI Seminário Nacional de Grandes Barragens, CBGB, Fortaleza - CE.
- [2] Bourdeaux, G.H.R.M. (1983). Materiais e métodos não-convencionais em barragens de terra e de enrocamento. XV Seminário Nacional de Grandes Barragens, CBGB, Rio de Janeiro - RJ, 3: 325-500.
- [3] Cruz, P.T.; Vieira Neto, A.; Monteiro, H.J.A.; Amaral, E.; Morimoto, S. & Pinheiro, R. (1975). Usina Capivara - Utilização de solos de alteração de basalto na construção da barragem de terra. X Seminário Nacional de Grandes Barragens, CBGB, Curitiba - PR, 1: 1-8.
- [4] Sardinha, A.E.; Schwab, P.R. & Komesu, I. (1981). Utilização de saprolitos de basalto em aterros compactados na Usina Hidrelétrica Salto Santiago - ELETROSUL. III Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, Itapema - SC, 2: 93-120.
- [5] Bicudo, R.I.; Leme, C.R.M. & Bourdeaux, G.H.R.M. (1980). A reconstrução da Barragem de Euclides da Cunha: principais aspectos geotécnicos. XIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, CBGB, Rio de Janeiro - RJ, 2: 183-204.
- [6] Leme, C.R.M. & Sorregotti, C. (1983). Nova Avanhandava. Simpósio Sobre a Geotecnia da Bacia do Alto Paraná, ABMS / ABGE / CBMR, Cadastro Geotécnico das Barragens da Bacia do Alto Paraná: 520-542.
- [7] Mori, R.T. (1983). Propriedades de engenharia de solos saprolíticos. Simpósio Sobre a Geotecnia da Bacia do Alto Paraná, ABMS/ABGE/CBMR, IA: 125-139.
- [8] Caproni Júnior, N.; Palocci, A.; Shimabukuro, M.; Ribas, J.B.M. & Mori, R.T. (1994). Propriedades geotécnicas de solos coluvionares e residuais de AHE Corumbá I. XXI Seminário Nacional de Grandes Barragens, CBGB, Rio de Janeiro - RJ, 1: 57-64.
- [9] Monti, H.C.; Carvalho, A.P.F. & Mesquita, J.B. (1999). Aproveitamento Múltiplo de Manso, aplicação de materiais não convencionais. XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, CBGB, Belo Horizonte - MG, 2: 145-158.