

3

Aspectos Geológicos e Geotécnicos

Nos itens a seguir serão abordados os aspectos geológicos e geotécnicos de maior interesse na área da Barragem de Terra da Margem Esquerda.

3.1. Características Gerais

A barragem de Itaipu e seu reservatório estão localizados sobre os derrames basálticos da Bacia do Paraná, da Formação Serra Geral, cuja origem remonta ao Período Jurássico.

As principais características geológicas da área de implantação da barragem são as seguintes:

- Derrames basálticos essencialmente horizontais, com espessura variando de 20 a 60 m;
- Camadas de brecha entre os derrames, com espessura de 1 a 30 m, heterogêneas, usualmente menos resistentes e mais deformáveis que o basalto;
- Descontinuidades em planos paralelos aos derrames de basalto, normalmente localizadas no contato entre derrames ou na base da zona de transição;
- Permeabilidade horizontal várias vezes maior que a vertical.

Os derrames basálticos são relativamente uniformes, variando de cinza escuro e granulometria fina, na porção central, para vesicular, amidaloidal e brechiáceo nas zonas de transição.

A espessura, litologia e porosidade das camadas de brecha são muito variáveis. No período compreendido entre dois derrames, a superfície do terreno ficou sujeita ao intemperismo, sofrendo erosão e deposição de sedimentos pelo vento e água. O derrame subsequente remoldou esse material, formando dessa forma as camadas de brecha de cada derrame.

Outra característica dos derrames basálticos da região é a presença de uma descontinuidade abaixo da camada vesicular-amidaloidal de cada derrame.

Na área da barragem, foram identificados 5 derrames distintos, que possuem um mergulho regional de 3 ° para nordeste. Esses derrames foram nomeados, de maneira ascendente, de: A, B, C, D e E. Cada derrame possui espessura variando entre 30 e 70 m e três tipos distintos de basalto:

- Basalto denso, caracterizado pela textura micro-cristalina, elevada densidade relativa (2,95) e elevado módulo de deformabilidade (> 20 GPa). Devido à sua elevada rigidez, essa camada é altamente fraturada.
- Basalto Vesicular Amigdalóide, possui textura similar ao denso, mas apresenta vesículas e é muito menos fraturado que o basalto denso. Sua densidade relativa varia entre 2,6 e 2,7 e seu módulo de deformabilidade entre 10 e 15 GPa. Não apresenta zonas permeáveis.
- Brecha, originada pela mistura de lava vesicular, blocos de basalto, arenito, siltito e outros materiais. Possui cavidades irregulares parcialmente preenchidas por carbonato e quartzo amorfo e cristalino. A densidade relativa varia entre 2,1 e 2,4, sendo menor que 2 localizadamente. O módulo de deformabilidade é da ordem de 7 GPa.

A Figura 4 mostra os sucessivos derrames de basalto na região da Barragem de Itaipu.

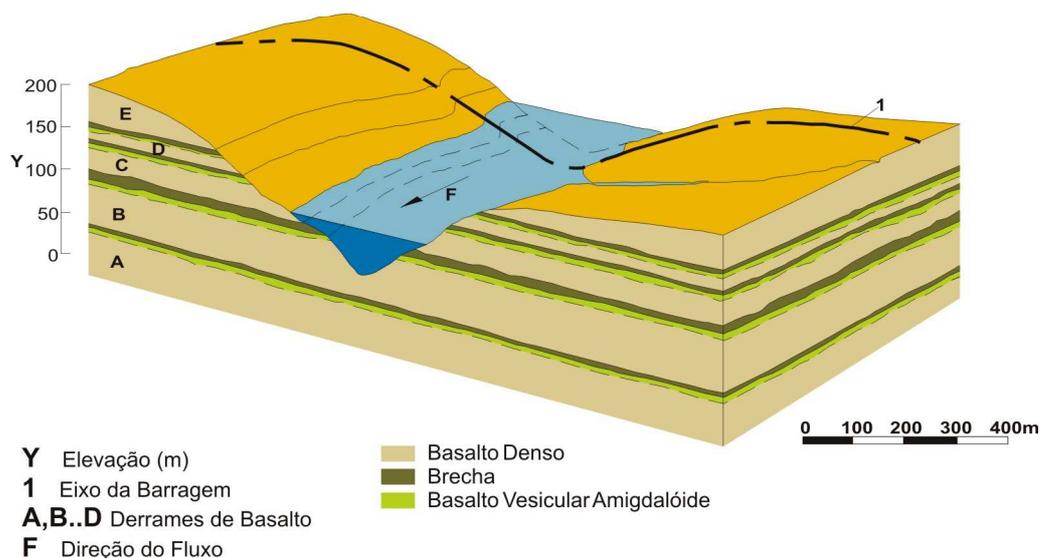


Figura 4 – Perfil Geológico na Área da Barragem de Itaipu

Na camada superficial do terreno, ocorre um solo residual originado da ação do intemperismo sobre os derrames de basalto. Praticamente não há sedimentos de origem aluvial ou eólica.

O solo residual é composto por três camadas distintas, em função do grau de intemperismo: argila vermelha, silte argiloso amarelo e solo saprolítico. A Figura 5 mostra um perfil típico de solo na região da Barragem de Itaipu.



Figura 5 – Perfil Típico de Solo na Região da Barragem de Itaipu

As características de cada camada serão abordadas nos itens a seguir.

3.2. Solo Residual

O solo residual ocupa toda a área de fundação da Barragem de Terra da Margem Esquerda. Sua origem está relacionada aos processos de intemperismo físico e químico atuantes sobre o basalto, especialmente aos relacionados à transformação de minerais do grupo dos feldspatos a argilominerais. A espessura média do solo, considerando as três camadas, é de 16 m. A seguir serão descritas as principais características de cada camada do solo, argila vermelha, silte argiloso amarelo e solo saprolítico. A fonte dos dados é o relatório 4280.50.8003.E.R0.

3.2.1. Argila Vermelha

É o horizonte superior do solo residual e também o mais maduro. Possui espessura variando entre 3 e 11 m, sendo a média igual a 7 m. Os valores médios dos ensaios de laboratório de caracterização, índices físicos, resistência e compressibilidade são mostrados na Tabela 1 .

LL (%)	63
IP (%)	38
Massa específica dos grãos (g/cm ³)	2,95
Porcentagem de argila	68
Porcentagem de silte	19
Porcentagem de areia	12
Porcentagem de pedregulho	1
Classificação Unificada	CH
Massa específica do solo úmido (g/cm ³)	1,54
Umidade natural (%)	28
Massa específica seca (g/cm ³)	1,23
Grau de saturação natural (%)	51
Massa específica do solo saturado (g/cm ³)	1,82
Umidade do solo saturado (%)	39
Índice de vazios	1,49
Porosidade (%)	59,8
Pressão de Pré-Adensamento (kgf/cm ²)	1,81
Índice de Compressão	0,58
Ensaio CU	
• Ângulo de atrito (°)	23
• Coesão (kgf/cm ²)	0,1
Ensaio CD	
• Ângulo de atrito (°)	25
• Coesão (kgf/cm ²)	0

Tabela 1 - Características da Argila Vermelha

A permeabilidade é fortemente dependente da tensão vertical aplicada. O resultado de permeabilidade calculada em ensaios de adensamento é

mostrado no Anexo 1. Para as tensões verticais provocadas pelo peso da barragem, a permeabilidade é da ordem de $5 \cdot 10^{-4}$ cm/s.

3.2.2. Silte Argiloso Amarelo

Este horizonte constitui a transição entre a argila vermelha e o solo saprolítico, o que explica o fato de sua constituição ser uma mescla dos materiais dos dois horizontes que separa. Sua coloração amarela permite separá-lo facilmente do horizonte superior. Granulometricamente há uma diminuição da fração argila e um aumento considerável da fração areia, com relação ao horizonte superior. Sua espessura média é de 3 m, sendo a máxima observada de 6 m.

Na Tabela 2 são mostrados os valores médios dos ensaios de caracterização do silte argiloso.

LL (%)	62
IP (%)	22
Massa específica dos grãos (g/cm ³)	2,97
Porcentagem de argila	30
Porcentagem de silte	38
Porcentagem de areia	22
Porcentagem de pedregulho	10

Tabela 2 Características do Silte Argiloso

3.2.3. Solo Saprolítico

O solo saprolítico corresponde ao horizonte inferior do solo residual, sendo o mais jovem dos três horizontes. Sua característica principal é a presença de fraturas reliquiares herdadas da rocha mãe.

Granulometricamente é de difícil caracterização, podendo apresentar desde matações a argila. As frações argila e areia variam consideravelmente, podendo predominar tanto uma como outra, dependendo do local. A espessura média deste horizonte é de 6 m, com um máximo de 17 m. Em algumas sondagens esse horizonte não foi identificado.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios dos ensaios de caracterização, índices físicos, resistência e compressibilidade do solo saprolítico.

LL (%)	73
IP (%)	27
Massa específica dos grãos (g/cm ³)	3,03
Porcentagem de argila	42
Porcentagem de silte	36
Porcentagem de areia	20
Porcentagem de pedregulho	2
Classificação Unificada	MH
Massa específica do solo úmido (g/cm ³)	1,76
Umidade natural (%)	46
Massa específica seca (g/cm ³)	1,22
Grau de saturação natural (%)	89
Massa específica do solo saturado (g/cm ³)	1,84
Umidade do solo saturado (%)	49
Índice de vazios	1,62
Porosidade (%)	68
Pressão de Pré-Adensamento (kgf/cm ²)	8,4
Índice de Compressão	0,75

Tabela 3 - Características do Solo Saprolítico

A permeabilidade do solo saprolítico varia muito pouco com a tensão vertical aplicada, como pode ser visto no Anexo 1. Foi considerado um valor médio de 5.10^{-6} cm/s para a permeabilidade do solo saprolítico calculada nos ensaios de adensamento oedométrico.

3.3. Maciço Rochoso

Abaixo do perfil de alteração do solo residual há um maciço rochoso de basalto são. O derrame superior é o denominado de **E**. Logo após o término do perfil de alteração, o derrame **E** apresenta-se muito pouco fraturado. O índice de qualidade da rocha, RQD, é superior a 85% na maioria das sondagens. A grande maioria dos ensaios de perda de água realizados deram perda nula e quando houve, a perda específica máxima (l/min x m x kgf/cm²) não superou 0,2 em nenhum caso. Essas características conferem ao basalto de fundação da BTME uma condição de camada impermeável.

No Anexo 2 é mostrado o perfil geológico da fundação no eixo da barragem, no Anexo 3 o perfil paralelo ao eixo, a jusante, e no Anexo 4, o perfil paralelo ao eixo, a montante. O Anexo 5 mostra o perfil geológico em duas seções transversais ao eixo da barragem.