

5. ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

5.1. GEOLOGIA REGIONAL

Desenhos de referência a este item: A-062-000-00-XX-0011 e A-062-000-00-XX-0012, apresentados no Volume 2 deste documento.

5.1.1. Contexto Estrutural

A área de interesse está situada dentro do Orógeno Araçuaí que se estende do Cráton do São Francisco ao litoral atlântico, aproximadamente entre os paralelos 15° e 21° S. Na altura do paralelo 21°, a passagem do Orógeno Araçuaí para o Orógeno Ribeira é marcada pela deflexão da estruturação brasileira que muda da direção NNE, a norte, para NE, a sul.

O domínio tectônico interno é, de fato, o núcleo metamórfico-anatético do orógeno, onde ocorre espetacular quantidade de rochas graníticas originadas em estágios diversos da Orogênese Brasileira. Este domínio inclui também a zona de sutura com remanescentes oceânicos e o arco magmático cálcio-alcálico. O relevo é do tipo "mar-de-morros" com "pães-de-açúcar" frequentes. Ao sul do paralelo 19° está preservada a porção mais profunda do núcleo metamórfico, onde rochas da fácies granulito são comuns. À norte do paralelo 19° localiza-se uma extensa zona de anatexia sin a pós-colisional, rica em granitos do tipo S, foliados ou isotrópicos.

Na parte ocidental do domínio interno predomina transporte tectônico para sudoeste, mas na sua região oriental registra-se transporte para leste (em particular no extremo leste de Minas Gerais e norte do Espírito Santo).

Parte da área abrangida pela bacia do rio Jucu está localizada sobre rochas de médio grau de metamorfismo por vezes cortadas por rochas intrusivas ácidas e básicas, estando recobertas, na faixa costeira por sedimentos terciários da Formação Barreiras.

As rochas do Complexo Paraíba do Sul, no Proterozóico Superior, foram submetidas à intensa deformação, oriunda de esforços compressivos de direção SE-NO, e certamente de movimentos tangenciais deles resultantes. No mesmo período, sucederam-se também intrusões graníticas, granitização e potassificação generalizadas, eventos esses que transformaram quase por completo as características anteriores das rochas.

O Complexo Paraíba do Sul compreende uma sequência proterozóica de rochas supracrustais de características vulcano-sedimentares, fortemente migmatizada e granitizada.

O padrão estrutural do Grupo Paraíba do Sul é intrincado, com pelo menos uma fase de dobramentos anteriores aqueles que podem ser considerados Brasileiros, como pode se observado na região de São Bento do Sapucaí e Campos do Jordão.

As rochas do complexo Charnockítico seguem a mesma direção da foliação do Complexo Migmatítico, com atitude em torno de N40° - 50°W, com mergulhos para NE, sendo que o aspecto bandeado de alguns charnockitos é função direta da tectônica e as evidências de dobramentos são quase inexistentes.

As rochas da área de interesse apresentada no mapa de geológico regional encontram-se afetadas por duas feições geo-estruturais significativas, sendo uma responsável pelo desenvolvimento da foliação / xistosidade regional. A segunda encarregou-se de gerar zonas de cisalhamento de alto ângulo com direções preferenciais NW-SE, NE-SW e N-S.

5.1.2. Estratigrafia

A Bacia Hidrográfica do Rio Jucu situa-se entre os paralelos 20°S e 30°S, ocupando uma área estimada de 2.000km². Suas cabeceiras estão situadas na Serra do Castelo, na região serrana central do estado do Espírito Santo, com extensão aproximada de 227,0km até sua foz, no Oceano Atlântico.

Fisiograficamente, o rio Jucu apresenta o perfil longitudinal dividido em três partes: trecho superior, com desnível de mais de 300,0m em 35,0km de curso; trecho intermediário, com 30,0km de extensão e 100,0m de desnível; e trecho inferior, com desnível superior a 500,0m em 40,0km de extensão.

É formado por dois braços, Braço Norte e Braço Sul e a jusante desta confluência recebe afluentes em ambas as margens.

O desenvolvimento do Braço Norte até a confluência com o Braço Sul é estimado em 122km, com uma Bacia Hidrográfica com área de cerca de 1.146km², limitada ao norte com a Bacia do Rio Santa Maria. As cabeceiras estão acima de altitude de 1200m, e até a sua confluência com o Braço Sul, ele vence um desnível de mais de 1.150m. A partir de sua confluência com Braço Sul até o mar tem uma extensão estimada em 46km.

As unidades litoestratigráficas que ocorrem na região da bacia hidrográfica do Rio Jucu, apresentam rochas com variações cronológicas desde o Pré-Cambriano até cenozoico. Essas unidades serão descritas abaixo, tomando-se em conta a sequência estratigráfica, os hiatos cronológicos correspondem a unidades geológicas não presentes na bacia hidrográfica e por isso não são descritos. Para as descrições que se seguem foram utilizados os trabalhos publicados pela CPRM: Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo – Programa Geologia do Brasil – Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil – Mapas Geológicos Estaduais – Escala 1:400.000 – 2015 e Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – Domingos Martins – Folha SF.24-v-A-III – Estado do ESPÍRITO SANTO – Brasília 1993.

A) Cenozóico

A1) Coberturas Superficiais

- Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes – Q2a

Esses depósitos se espalham pela costa leste do Espírito Santo, desde o Rio Itabopoana até o Rio São Mateus.

São litologicamente diferenciados em depósitos aluvionares ou areias brancas.

O primeiro tipo constitui depósitos de areias quartzosas grossas, de grãos angulosos mal selecionados, conglomeráticas, micáceas com intercalações argilo-sílticas e argilosas. Relacionados em sua maioria ao Rio Doce e suas planícies de inundação. Nas demais áreas em que ocorrem, as aluviões mostram uma composição com mais cascalho, areia e argila.

O segundo tipo, areias brancas, são quartzosas, de granulação média a grossa, mal selecionadas. Esses depósitos se estendem por algumas centenas de metros segundo uma direção leste-oeste acima do Grupo Barreiras parecendo representar antigos canais fluviais.

Datados de uma era Neógena-Holocênica, sua formação se deu após a relativa estabilização do nível do mar no fim da Transgressão Flandriana.

- Cordões Litorâneos Recentes – Q2cl

No Brasil, o abaixamento do nível do relativo do mar de cerca de 3-4 metros nos últimos 5.700 anos, favoreceu a progradação da linha de costa, originando extensas planícies de cordões litorâneos. No Estado do Espírito Santo os cordões litorâneos distribuem-se formando uma faixa praticamente contínua ao longo da costa, em toda extensão da frente deltaica, assumindo larguras que variam de 16km, na região da foz do Rio Doce, ao mínimo de 240 metros, a norte de Conceição da Barra.

Piazza & Araújo (1972) reconheceram dois tipos de cordões litorâneos recentes: eólicos e marinhos (depósitos de praia). Litologicamente, constituem-se de areia quartzosa cuja granulometria é variável. As areias eólicas caracterizam-se pela textura mais fina, boa seleção e ausência de mica.

A2) Grupo Barreiras – Enb

Essa unidade geológica ocorre no extremo oriental do mapa apresentado, numa porção bem reduzida.

O termo Barreiras foi referenciado pela primeira vez na carta de Pero Vaz Caminha ao rei de Portugal, em 1500, quando o escrivão da esquadra de Pedro Álvares Cabral diz que “a terra traz ao longo do mar, em algumas partes, grandes barreiras, delas vermelhas e brancas” (Brito, 1992, *apud* Moraes 2007). No Espírito Santo o Grupo Barreiras distribui-se segundo uma faixa aproximadamente alongada no sentido N-S, situando-se grande parte entre o embasamento cristalino e os depósitos quaternários da baixada costeira.

O Grupo Barreiras é constituído de arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, argilosos, finos e grosseiros, mal selecionados, com intercalações de argilitos vermelhos e variegados. Os depósitos dessa unidade são bastante ferruginizados, apresentando cores variadas desde o vermelho ao alaranjado. Esta ferruginização, quando muito intensa, ocorre como crostas ferruginosas. Associam-se a feições de tabuleiro e, ao longo do litoral, ocorrem em forma de falésias ativas.

B) Paleozóico**B1) Província Mantiqueira – Estágio Pós Orogênico**

- Suíte Intrusiva Santa Angélica

Maciço Aracê - εδ5sadr - εγ5saamzgr

O Maciço Aracê, também denominado Pedra Azul (Costa-de-Moura *et al.*, 1999, In: De Campos *et al.*, 2004), é uma intrusão bastante irregular que cobre cerca de 200 km². É formado por litótipos contrastantes que variam de composição de diorito a sienogranito de granulação média. Granitos megaporfíricos e litótipos de granulação grossa estão ausentes neste plúton. Um sistema de faturamento NW-SE e NE-SW é observado tanto ao longo do plúton como também nas rochas encaixantes. Os litótipos estão separados das rochas encaixantes por uma zona migmatizada que mostra contatos “lit-par-lit” e nebulíticos, com desenvolvimento de fusão parcial das unidades metamórficas. A fácies magaporfírica ou de grão grosso está ausente nesta intrusão. Um monzogranito de granulação média esculpe as porções mais elevadas dos picos e a região de borda, consistindo no primeiro envelope magmático da estrutura (Wiedemann *et al.*, 2002). Vários domínios de composição tonalítica a granodiorítica foram cartografadas no centro do corpo. Os contatos entre o monzogranito e os domínios de tonalito a granodiorito são marcados por zonas mistas, onde schlieren graníticas estão em contato com rochas mais máficas de granulação fina, originando estruturas do tipo almofadas (pillow-like) e em rede, típicas de misturas heterogêneas (mingling) de magmas. O bordo norte da estrutura, próximo da cidade de Aracê, está exposta uma pequena região de composição diorítica por cerca de 6km². Uma zona de xenólitos dos sillimanita quartzitos e granada-sillimanita gnaisses quartzosos do Complexo Nova Venécia forma um litofácies que foi cartografado por vários quilômetros (15 x 1km), que não foi indicado no mapa devido a escala de representação.

- Suíte Intrusiva Espírito Santo

Maciço Viana - εγ5lesvigr - εγ5lesvick

Segundo Fostes *et al.* (2004) dois corpos de granito e um de charnockito foram individualizados ao Sul de Vitória. Os granitos são alcalinos de granulação fina a média por vezes porfíricos, tipo I. O Charnockito é porfírico, metaluminoso, calcioalcalino de alto K.

Granito - εγ5lesgr

Foi posicionado nesta suíte um corpo alongado de granito porfírico, situado a norte da localidade de Itapecoá, porém sem denominação.

Maciço Vitória - εγ5lesgr - εγ5lesvit

Granito porfírico é a litologia predominante do Maciço Vitória. Apresenta uma matriz de granulação média e cor cinza, envolvendo megacristais com tamanho de até 3x1 cm de dimensões. Localmente exhibe foliação de fluxo magmático e está cortado por diques de

basalto. Também se observa autólitos de rocha máfica provavelmente microdiorito. Ainda, são observados, somente em escala de afloramento, migmatitos e leucogranitos do tipo S, especialmente nas ilhas e costões rochosos que bordejam o mar. O maciço está representado por vários corpos individualizados de granito porfirítico.

Maciço Mestre Álvaro - $\epsilon\gamma 5$ lesma

Trata-se de um maciço de composição heterogênea, ocorrendo granito porfirítico. Também ocorre diorito (Fortes, 2013 – informação verbal), porém não foi cartografado durante a execução da cartografia geológica da folha Vitória (Fortes *et al.*, 2014) – PRONAGEO. Este maciço está representado por dois corpos situados no município de Serra.

B2) Província Mantiqueira – Estágio Sin – A Tardi-Orogênico

- Granitoides pouco foliados, peraluminosos, calcialcalinos, de alto K tipo S

Suíte Ataléia – Unidade Granada-biotita granito Ataléia – NP3y2sat

Esta unidade é a que possui maior representatividade da suíte na área integrada. A suíte foi mapeada e caracterizada inicialmente por Vieira (2000) quando estes autores cartografaram as folhas Itabirinha de Mantena (SE.24-Y-A-V) e Ataléia (SE.24-Y-II) – Projeto Leste de Minas Gerais – 1ª Fase, respectivamente. Segundo descrições pioneiras destes autores, mesoscopicamente são granitos brancos acinzentados, de granulação fina a média, constituídos de quartzo, feldspato, biotita e granada. Possuem restitos de biotita granada gnaiss e de rocha calcissilicática. No Espírito Santo esta unidade está registrada na porção noroeste (Silva *et al.*, 2005) e também cartografada por Gradim *et al.* (2007), Queiroga *et al.* (2010), Roncato Júnior *et al.* (2012), Baltazar *et al.* (2010) e recentemente por Fortes *et al.* (2014). Ocorre formando batólitos desde as proximidades da localidade de Nova Venécia, ao norte, estendendo-se para sul até Santa Maria de Jetibá. Na cartografia executada recentemente no PRONAGEO/UFES esta suíte está representada por granada-biotita granito (Fortes *et al.*, 2014). À sudeste da localidade Fundão a rocha está afetada por falha ou zona de cisalhamento transtraccional dextral cujos marcadores são porfiroclastos de feldspato que indicam movimento dextral.

Suíte Carlos Chagas – Leucogranitos Carlos Chagas Porfíricos –NP3y2Scci

Esta unidade foi diferenciada por Castañeda *et al.* (2007), que a denominou Suíte Carlos Chagas indeformada. Segundo estes autores representam porções preservadas da deformação, que mostram inequívocas texturas e estruturas ígneas de biotita-granada leucogranito porfirítico, de granulação muito grossa a grossa. Esta rocha é rica em fenocristais euédricos, centimétricos a decimétricos, de feldspatos potássico peritítico. O fluxo ígneo é evidenciado pela orientação dos porfiroblastos de feldspato, sendo observadas feições de entalhamento de cristais retangulares e desvios de trajetória em torno de fenocristais maiores, assim como estrutura completamente isotrópica. A granada, euédrica, distribui-se aleatoriamente por toda a rocha. A matriz tem granulação média a grossa e consistem essencialmente de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio sódico,

granada e biotita. Os minerais acessórios são opacos (sulfetos e outros), zircão, apatita e monazita.

Suíte Bela Joana – NP3γ2bj

A unidade foi mapeada como pertencente ao Complexo Charnockítico, pertencente da Associação Paraíba do Sul (Silva & Ferrari, 1976) que englobava esta unidade e outras da fácies granulito ocorrentes mais a noroeste. Batista et al. (1978) passaram a designá-la com Unidade Bela Joana, e Grossi Sad et al. (1988), de Sequência Charnokítica. Fonseca et al. (1988) utilizaram o termo suíte Enderbítica Bela Joana, correlacionando-a ao Complexo Juiz de Fora. Porcher (1997) denominou-a de Gnaisses Charnockíticos. Silva et al. (2001) denominou de Suíte Bela Joana as rocha charnockíticas que afloram na região noroeste do Rio de Janeiro, partindo da localidade de Santa Maria Madalena e adentram para o Estado do Espírito Santo. O conjunto é descrito na literatura (Rêgo, 1989) como uma associação charnockítica com gabro-norito, enderbitos e charnockitos, incluindo também gabro-noritos e leucogranitos com enclaves, com predominância dos termos intermediários. No mapa do Espírito Santo (2015) foi adotada a denominação de Silva et al. (2001).

A Suíte Bela Joana está representada por granitoides constituídos por granada-hornblenda-ortopiroxênio-clinopiroxênio charnockítico, com enclaves de granada-sillimanita gnaiss, ocorrendo associado ortognaiss enderbítico a tonalito. Datação em charnokito revelou uma idade 575 ± 15 Ma U-Pb em zircão (Basei et al., 2010). Essa suíte se estende pelo Espírito Santo a norte da localidade de Rio Calçado. As relações de campo mostram que estes granitoides são tardi-orogênicos (NP3γ2) foram originados da fusão parcial de uma pilha de rocha predominantemente metassedimentar a qual foi intrudida por ortognaisses na fácies anfibolito alto a granulito de composição hiperstênio granodiorítica a tonalítica e em menor quantidade, de composição quartzo-monzonítica a granítica, (charno-enderbitos), localmente com granada (De Campos et al., 2004). No Espírito Santo predomina granada-hornblenda-clinopiroxênio charnokito com enclaves de granada-sillimanita gnaiss (NP3γ2bj) e subordinadamente ortognaiss enderbítico a tonalítico individualizado a oeste da localidade de Guarapari.

Segundo De Campos et al. (2004) o pacote sedimentar original passou por mudanças graduais para camadas (níveis) metaluminosas de biotita-anfibólio-granada gnaiss. O pacote de rocha metassedimentar foi parcialmente fundido e intrudido por metaígneas gnaissicadas na fácies anfibolito alto a granulito, predominando as composições hiperstênio granodiorítica a tonalítica (enderbitos γ2), e em menor quantidade as composições graníticas a quartzo-monzoníticas (charno-enderbitos γ2 e kinzigito do Complexo Costeiro. Datação em charnokito realizada por Tassinari et al. (2008), In: Basei et al. (2010) obteve-se idade de 575 ± 15 Ma U-Pb em zircão e datação em granitoide tardio apresentou idade de 493 ± 14 Ma.

B3) Província Mantiqueira – Estágio Pré – A Sin-Orogênico

- Granitoides foliados a gnáissicos predominantemente metaluminosos, caccialcalinos, tipo I – NP3γ1l.

Ortognaisse Jequibá - NP3y1ljqr - NP3yljqt

Sob esta designação estão individualizados dezessete corpos de ortognaisse de composição tonalítica e um corpo de composição granítica.

Corpo de composição granítica NP3y1ljqr foi individualizado nas proximidades da localidade de Santa Leopoldina e possui uma forma alongada segundo a direção norte-sul. No mapa geológico do Espírito Santo de 2015 foi adotada a denominação de ortognaisse granítico de Vieira (1997), que enquadrou estas intrusivas na classificação y2b, representada por granulito quartzo-feldspáticos, granada-piroxênio granulito estratoides (com enclaves de quartzitos e calcissilicáticas), bem como ortognaises graníticos granatíferos, caracterizados como produtos de anatexia parcial dos gnaisses kinzigíticos do atualmente denominado Complexo Nova Venécia.

Os ortognaises de composição tonalítica - NP3yljqt possuem variações para quartzo-diorítica e granodiorítica, raramente granítica ou quartzo-monzodiorítica. Geralmente possuem cor cinza-clara a esbranquiçada, às vezes cinza-escura, granulação grosseira e são compostos de quartzo, feldspato, biotita, pouca granada e, localmente anfibólio. São descritos veios de quartzo, aplíticos e pegmatíticos, que cortam estas rochas ou preenchem fraturas. Ao microscópio foram definidas as texturas alotriomófica a hipidiomófica, granoblástica, granonematoblástica a gnáissica, em que a foliação é definida pela disposição e orientação planar preferencial dos minerais máficos. São descritas texturas magmáticas preservadas, especialmente do tipo cumulática, e de cristais zonados de plagioclásio, indicando deformação no estado plástico.

Ortognaisse Santa Tereza - NP3y1lst

Sob esta denominação foram integrados no mapa do Espírito Santo 37 corpos de gnaiss enderbíticos que geralmente estão associados aos gnaisses aluminosos e quartzosos do Complexo Nova Venécia, ortognaises tonalíticos e como em alguns maciços intrusivos.

Os enderbitos compõem-se de quartzo, feldspato, biotita, hiperstênio, subordinadamente anfibólio e granada. Possuem granulação média a grossa, geralmente possuem foliação incipiente bem pronunciada e cor cinza-escura, esverdeada e amarelada quando alterada. Ao microscópio essas rochas compõem-se de plagioclásio de composição andesina-oligoclásio, ocorrendo em cristais xenoblásticos a tabulares, raramente antipertítico. O quartzo é geralmente xenoblástico e possui extinção ondulante. A biotita ocorre em palhetas marrom-avermelhadas e encontra-se predominantemente orientadas. O piroxênio é de composição hiperstênio ocorrendo com pleocroísmo róseo, irregulares e prismáticos. O anfibólio é produto de alteração do piroxênio. A granada de composição almandina, possui pleocroísmo róseo e possui hábitos ovalados a arredondados. A mineralogia acessória é composta de zircão, apatita e opacos. Os minerais secundários são o carbonato, clorita, sericita e argilominerais.

Granitoide Alfredo Chaves – NP3y1lac

Este ortognaisse ocorre nas proximidades de São Miguel, foi cartografado por Féboli (1993). Englobam rochas de coloração cinza a esbranquiçada, leucocráticas, de

granulação grosseira, Possui estrutura gnáissica com porções maciças e foliações com caimento predominante de baixo ângulo.

Possui composição tonalítica a granítica, e macroscopicamente identifica-se o quartzo, feldspato, granada e rara biotita. As descrições microscópicas indicaram uma textura granoblástica e subordinadamente lepidoblástica, além de ocorrer também a textura granular hipidiomórfica. A mineralogia acessória é composta por plagioclásio, quartzo, granada e pouca biotita, sendo que a microclima ocorre localmente. O quartzo é intersticial e digere os cristais de plagioclásio, que é antipertítico e apresenta contatos suturados e alguns cristais estão envolvidos pela microclima. A granada ocorre em porfiroblastos irregulares com inclusões poiquiloblásticas de biotita, plagioclásio, quartzo e apatita. Dentre a mineralogia acessória identifica-se a apatita, opacos, zircão e epidoto. Os minerais de alteração são o carbonato, sericita, clorita e muscovita.

Tonalito Alto Guandu – NP3γ1lag

Numa visualização desta unidade em relação ao Mapa Geológico do Espírito Santo pode-se dizer que possui uma forma aproximada norte-sul e ocorre entre a lente de mármore da Unidade São Joaquim – Grupo Italva, a norte da localidade de Cachoeiro de Itapemirim e os maciços Castelo e Aracê. No mapa apresentado está situada na porção Sudoeste, a cidade de Cachoeiro encontra-se mais ao sul do mapa.

Parte desta unidade foi cartografada por Signorelli (1993) sob a designação de Py1b e por Silva (1993) com Py1^a. Vieira (1997) estudando esta região designou a unidade de Silva (1993) de γ1b e a de Signorelli (1993) de γ1b. No mapa Geológico do Espírito Santo (2015) devido às semelhanças litológicas, as unidades individualizadas pelos autores acima, foram agrupadas e tomaram o nome de Tonalito Alto Guandu.

Assim sendo, sob a designação de Tonalito Alto Guandu, estão incluídos os ortognaisses granodioríticos com fácies tonalítica, granulação média a grosseira, localmente profiroblástico com enclaves de gnaiss bandado e os ortognaisses graníticos, que lá afloram cinza-claros, granulação média a grossa, localmente profiroblástico, com porções de gnaiss tonalítico, granulito quartzo-feldspáticos, granada-piroxênio e granulito estratoides, com enclaves de quartzitos e calcissilicáticas.

B4) Província Mantiqueira – Estágio Pré-Orogênico

- **Complexo Nova Venécia – NP3nv**

O Complexo Nova Venécia é constituído de paragnaisses peraluminosos, ricos em biotita, cordierita, granada e/ou sillimanita, com intercalações de cordierita granulito e rocha calcissilicática.

Esse complexo representa a sedimentação pelítica em bacia de retroarco, e contém abundância de grãos detríticos de zircão datados entre 630 e 590 Ma (Noce *et al.*, 2004). As idades dos zircões detríticos mais jovens e menos discordantes, datado por Noce *et al.* (2004), sugerem idade máxima de sedimentação de protólitos do Complexo Nova Venécia em 608 ± 18 Ma (Pedrosa-Soares *et al.*, 2007). A idade mínima de ca. 575 Ma é dada pelas datações de fusões graníticas derivadas dos paragnaisses (Roncato, 2009). No

mapa Geológico do Estado do Espírito Santo estes gnaisses ocorrem primeiramente na porção noroeste, nas proximidades da localidade São Geraldo (fora do mapa apresentado), depois torna a ocorrer mais a sudeste em Córrego Penha, em Nova Venécia (também fora do mapa), cidade que deu o nome, indo até Vila Valério e se estende continuamente desde a localidade de Morelli, para sul até a localidade de Alto Pongal, a oeste de Anchieta, atravessando todo o mapa apresentado no sentido norte-sul.

Os primeiros levantamentos geológicos de cunho regional foram realizados por Silva & Ferrari (1976) que incluíram estas rochas na Associação Paraíba do Sul. Fontes *et al.* (1978) incluíram estas rochas no que denominaram de Complexo Gnáissico-Migmatítico da Associação Barbacena/Paraíba do Sul. Já Silva *et al.* (1987) incluíram-nas no Complexo Paraíba do Sul (do Proterozóico Superior) e parte do Complexo Procrane (do Proterozóico Inferior).

Estes gnaisses encontram-se recobertos por sedimentos do Grupo Barreiras, aflorando em talwegues, como nas proximidades da localidade de Vinhático, Pinheiros, no norte deste estado.

Vieira (1993), e Baltazar (2010) individualizaram gnaisses quartzosos. Trata-se de uma sequência pelito-areno-carbonática constituída predominantemente por granada-sillimanita (cordierita) gnaisses, localmente deformados, com intercalações de gnaisses calcissilicáticos, biotita-granada xistos, muscovita-xistos e quartzitos.

Os granada-sillimanita (cordierita) gnaisses representam a sequência originalmente pelítica. Existem sutis variações composicionais, que podem refletir variações faciológicas, determinadas não só pelo conteúdo de seus componentes mineralógicos essenciais, tais como quartzo, granada, biotita, sillimanita e plagioclásio, mas também pela variação granulométrica local ocorrendo mobilizados quartzo-feldspáticos denunciando migmatização localizada.

Baltazar (2010), ao cartografar a folha São Gabriel da Palha, bem mais ao norte do mapa apresentado, posicionou esta unidade de quartzitos numa subunidade do Complexo Nova Venécia – NP3nvgnq. Esta unidade está representada por granada-biotita gnaiss quartzoso, com espessas intercalações de quartzito granatífero, quartzo-mica xisto e quartzo-grauvaca.

- Grupo Italva – NP3it

O Grupo Italva foi definido pioneiramente por Machado Filho *et al.* (1983) como referência a um conjunto constituído de granada-hornblenda gnaiss, mármore e anfibolitos. Duarte (2012) individualizou o Grupo Italva em cinco unidades de mapeamento: Unidade Serra da Prata; Unidade Macuco; Unidade São Joaquim; anfibolito; e metachert. No mapa do Espírito Santo (2015) foram individualizadas as seguintes unidades: Unidade São Joaquim – MP3itsj; Unidade Macuco – MP3itma e Unidade Serra da Prata – MP3itsp. Destas apenas as duas últimas estão representadas no mapa apresentado.

Unidade Serra da Prata – NP3itsp

Essa unidade corresponde à unidade ps7 de Vieira (1977) e a unidade Pps3 de Silva (1993), está presente na porção leste do mapa. Ambos os autores incluíram as lentes de mármore nesta unidade. Estes autores descreveram que ocorre biotita-anfibólio gnaisses, bandados, cinza a cinza escuro, com marcante foliação de transposição, com intercalações de anfibólitos, calcissilicáticas, quartizitos e mármores.

No mapa Geológico Do Espírito Santo (2015), seguindo Duarte (2012), a Unidade Serra da Prata está representada por gnaisses com composições que variam de tonalítica (gnaisse cinzentos mesocráticos) a granítica (gnaisse leucocráticos finos) e, com característica comum, apresentam bandamento marcante, cuja natureza pode ser tanto primária quanto migmatítica, predominantemente estromática. O bandamento primário se dá pela alternância de níveis decimétricos de anfibolitos finos, rochas calcissilicáticas e, localmente, bandas métricas de piroxênio anfibolitos, grossas. O bandamento migmatítico consiste na alternância entre faixas paralelas de leucossoma apolítico a pegmatoide, rico em hornblenda, de composição tonalítica a granodiorítica, e bandas melanossomática ricas em biotita e magnetita.

Unidade Macuco – MP3itma

A Unidade Macuco foi individualizada a leste dos maciços Mimoso do Sul, Castelo e Aracê, aparece no mapa na parte central de forma alongada. É formada por um conjunto de gnaisses homogêneos, cujas características e associações com outros litotipos (rochas calcissilicáticas, anfibolitos e muscovita-sillimanita-granada-biotita gnaisses) ou unidades (Unidade Serra da Prata) sugerem, fortemente, origem vulconossedimentar. As melhores exposições dessas rochas estão em afloramentos do tipo cortes de estrada, lajedos e lajes em leitos de rios, paredões, blocos e matacões em meia encosta e lajedos em topos de morros. Dois tipos principais de gnaisses constituem a Unidade Macuco na área: hornblenda-biotita gnaisse, com intercalações anfibolito, muscovita-sillimanita-(granada)-biotita gnaisses, rochas calcissilicáticas, mármore e rochas metaultramáficas; e granada-biotita gnaisse claro.

No mapa Geológico do Espírito Santo (2015) não foram encontradas lentes de mármore e rochas metaultramáficas como são descritas por Duarte (2012), mas isso não significa que não possam ocorrer.

Essa unidade segundo Duarte (2012), o hornblenda-biotita gnaisse tem coloração cinza clara, granulação predominantemente fina, sendo localmente, fina a média, e composição variando de granítica a granodiorítica. É comumente anisotrópico, apresentando bandamento fino dado pela alternância de bandas milimétricas a centimétricas quartzo-feldspáticas e filmes ricos em biotita e, localmente, granda. Xistosidade grossa pouco penetrativa é definida pela orientação incipiente de cristais de biotita e, localmente, também de porfiroblastos (de 0,5 a 2 cm de comprimento) de feldspato. Este gnaisse pode apresentar-se incipientemente migmatizado com lâminas ou bandas leucossomáticas quartzosas com biotita ou granada+muscovita, paralelas a xistosidade da rocha e a melanossomas ricos em biotita e hornblenda. Localmente, a porção leucossomática ocorre com veios quartzo-feldspáticos ptigmáticos. Quando em muscovita-sillimanita-biotita gnaisses, os veios ptigmáticos têm melanossomas adjacentes

ricos em sillimanita+muscovita. Próximo à Zona de Cisalhamento São João do Paraíso, esses gnaisses adquirem foliação protomilonítica a milonítica. Os minerais constituintes da rocha dominante são: plagioclásio, K-feldspato, quartzo, biotita, hornblenda, granada, magnetita, zircão, apatita, sillimanita e muscovita (primária). Clorita e sericita ocorrem como fases secundárias. Quando alterada, a rocha gera solo areno-argiloso ocre e se associa a ravinas, sulcos e colinas.

5.2. GEOMORFOLOGIA

A área da bacia do Rio Jucu se insere dentro de duas regiões geomorfológicas. A primeira junto à foz do Rio Jucu, denominada no mapa geomorfológico do Espírito Santo como região Piedemontes Inundados (Morfoestruturas denominadas Depósitos Sedimentares), constitui-se de sedimentos cenozoicos do Grupo Barreiras depositados sobre o embasamento muito alterado, fato que dificulta muitas vezes a diferenciação dos dois materiais. Os sedimentos apresentam espessura variada e disposição subhorizontal, com mergulho para leste, em direção ao Atlântico. A segunda região está em cotas mais altas, denominada como Planaltos da Mantiqueira Setentrional (Morfoestruturas denominadas Faixa de Dobramentos Remobilizados), esse tipo de formação planáltica possui aspecto montanhoso fortemente dissecado, incluindo altitudes variadas dispostas geralmente em níveis altimétricos relacionados com as fases de dissecção comandadas pelos rios, adaptados às fraquezas litológicas e estruturais. Tanto o local da barragem como o seu reservatório estão integralmente dentro dessa região geomorfológica.

5.3. ASPECTOS GERAIS DO RESERVATÓRIO

5.3.1. Estabilidade das Encostas

As áreas de contorno do reservatório estão inseridas dentro de um relevo montanhoso, sobre a ação de dissecção comandada pela drenagem. Parte do substrato rochoso encontra-se exposto em forma de paredões ou “pães de açúcar” e, parte encontra-se capeado por solos coluvionares e residuais, solos aluviais estão restritos em geral as calhas das drenagens principais. De uma forma geral existe uma cobertura vegetal nativa ainda importante, circundadas por regiões desmatadas nas quais a cobertura vegetal está restrita à presença de gramíneas, no entanto, essa presença atua como um agente estabilizador. A considerar a região geomorfológica em que se insere o reservatório, e a natureza geológica da região, pode-se esperar pequenos deslizamentos, sobretudo, em regiões onde ocorre espessa camada de solo sobre um substrato rochoso íngreme. Deslizamentos envolvendo grandes deslocamentos de massa, em princípio, não são esperados.

5.3.2. Estanqueidade do Reservatório

Sob esse aspecto, a natureza das rochas que circundam as regiões limítrofes do reservatório permite afirmar que não haverá risco de fuga ao longo da linha de contorno do reservatório.

5.3.3. Sismicidade Natural – Induzida

Do ponto de vista de sismicidade natural, a atividade sísmica do Brasil é baixa, por que o nosso território está situado no centro da placa Sul-Americana, que atinge até 200 quilômetros de espessura. Os sismos nessa localidade raramente possuem magnitudes e intensidade elevadas. No entanto, existe a ocorrência de terremotos no território brasileiro, causados por “desgastes” na placa tectônica, promovendo possíveis falhas geológicas. Essas falhas, causadoras de abalos sísmicos, estão presentes em todo território nacional, proporcionando terremotos de pequena magnitude; alguns deles são considerados imperceptíveis na superfície terrestre. A maior parte desses terremotos não chega a 4 graus na escala Richter. Nas bordas ou limites dessas placas a atividade sísmica é mais forte, mas é normalmente mais fraca no seu interior, como é observado no caso do Brasil. Interessante notar que um dos maiores sismos ocorridos no Brasil, 6,3 (1955) aconteceu no oceano Atlântico, a cerca de 300 quilômetros do litoral do Espírito Santo, tratou-se de uma situação singular. No caso da área da barragem e reservatório pode-se dizer que se insere uma região estável, cujos sismos naturais não devem ultrapassar aos 4 graus Richter, ou seja, de baixa magnitude.

Considerando o contexto estrutural e geológico no qual se insere a barragem e o seu reservatório, não há indicativos de que a presença do reservatório possa induzir a ocorrência de sismos na região.

5.4. GEOLOGIA LOCAL

5.4.1. Introdução

A área em estudo foi objeto de mapeamentos geológico-geotécnicos e de investigações de campo através de sondagens a percussão em solo e rotativa em rocha, bem como, realização de ensaios de infiltração em solo e perda d'água em rocha.

O mapeamento geológico geotécnico nas regiões da barragem / vertedouro e da casa de força, consolidado nos desenhos A-062-000-00-XX-0013 e 0014 (Volume 2 deste documento), foi realizado durante as visitas de campo que ocorreram na fase de programação das sondagens e durante a realização das mesmas. Nessas visitas ambas as margens foram percorridas e mapeadas. Para legenda ver desenho A-062-000-00-XX-0010, também constante do Volume 2.

A campanha de investigações foi realizada em duas fases. Na primeira fase foi dada ênfase ao eixo mais próximo ao eixo do aproveitamento hidroelétrico designado de Santa Bárbara no Inventário do Rio Jucu apresentado à ANEEL. No presente estudo, o eixo inicialmente avaliado foi um eixo ligeiramente deslocado para montante, em relação ao Eixo de Santa Bárbara, com o objetivo de não se interferir na Estrada BR 262, em função da cota estabelecida para o nível d'água máximo normal da barragem, elevação 120 m. Nesta fase foram realizadas as sondagens designadas de SM-01 a SM-07.

Com base nos primeiros resultados obtidos verificou-se a necessidade de se caminhar mais para montante, pois a presença de uma camada de aterro pertencente à BR 262 tornava esse eixo inadequado.

A segunda fase foi realizada em sequência à primeira e constaram das sondagens SM-08, SM-09, SP-10, SP-11, SM-12 e SM-13. O deslocamento para montante implicou na mudança do arranjo, que inicialmente era em concreto compactado a rolo com vertedor incorporado no corpo da barragem, para uma barragem em enrocamento, com fechamento na ombreira direita em terra e vertedor numa sela topográfica situada na margem esquerda. Essas mudanças foram decorrentes da morfologia existente mais a montante, onde o vale do rio se torna mais aberto.

No Capítulo 3, item 3.2, foram descritas as investigações executadas. Nos desenhos A-062-000-00-XX-0013 e 0014 (Volume 2), que apresentam o mapeamento geológico-geotécnico local, são também indicadas a localização em planta dessas investigações e o sombreamento das estruturas que compõem o aproveitamento, segundo o arranjo geral final desenvolvido.

Conforme já abordado no Capítulo 3, os perfis individuais das sondagens (logs), os resultados dos ensaios de infiltração e de perda d'água, bem como as fotos das caixas de testemunhos das sondagens rotativas são apresentadas no Apêndice B – Geologia e Geotecnia deste documento.

No Volume 2 – Desenhos, encontram-se as seções geológico-geotécnicas longitudinais e transversais pelas estruturas principais que compõem o aproveitamento - ver desenhos A-062-000-00-0-XX-0015 a 0022. Nestas seções foram inseridos os logs resumidos das sondagens, designados por mini-logs. A localização em planta dessas seções consta dos desenhos A-062-000-00-0-XX-0013 e 0014.

5.4.2. Geologia Local

Sob o ponto de vista geológico, a região do aproveitamento da Barragem do rio Jucu – Braço Norte é constituída por rochas do Complexo Nova Venécia, ou seja, paragneisses peraluminosos, ricos em biotita, cordierita, granada e/ou sillimanita, com intercalações de cordierita granulito e rocha calcissilicática. Esse complexo representa a sedimentação pelítica em bacia de retroarco do Orógeno Araçuai.

Na região em estudo ocorrem diversos afloramentos de rocha que foram cartografados com apoio topográfico.

5.4.2.1. Ombreira Direita

Esse trecho está compreendido entre a estrada BR 262 e a margem do Rio Jucu. Na parte superior junto à estrada ocorrem afloramentos rochosos nos cortes da estrada como podem ser vistos na Foto 5.1, a seguir. A sondagem SM-01 fica em frente ao deslizamento em colúvio/rocha alterada mole (RAM). Todo o trecho da estrada nessa região foi implantado numa seção de corte e aterro. A sondagem SM-01 (cota 117,53m) atravessou cerca de 8 m em aterro bem compactado com resultados de ensaios de SPT

BARRAGEM NO RIO JUCU - BRAÇO NORTE

elevados e permeabilidade baixa. A presença desse aterro indicou a necessidade de mover o eixo mais para montante, conforme abordado anteriormente.

Foto 5.1
Coordenadas: 336.625 O; 7.746.081 S.



Na parte inferior foram encontrados afloramentos rochosos constituídos por gnaiss são a pouco alterado, com gnaissificação em superfície bem desenvolvida e fraturas de verticais a subverticais. Ver Fotos 5.2, 5.3 e 5.4.

Foto 5.2
Coordenadas: 336.615 O; 7.746.115 S.



Foto 5.3
Coordenadas: 336.614 O; 7.746.137 S.

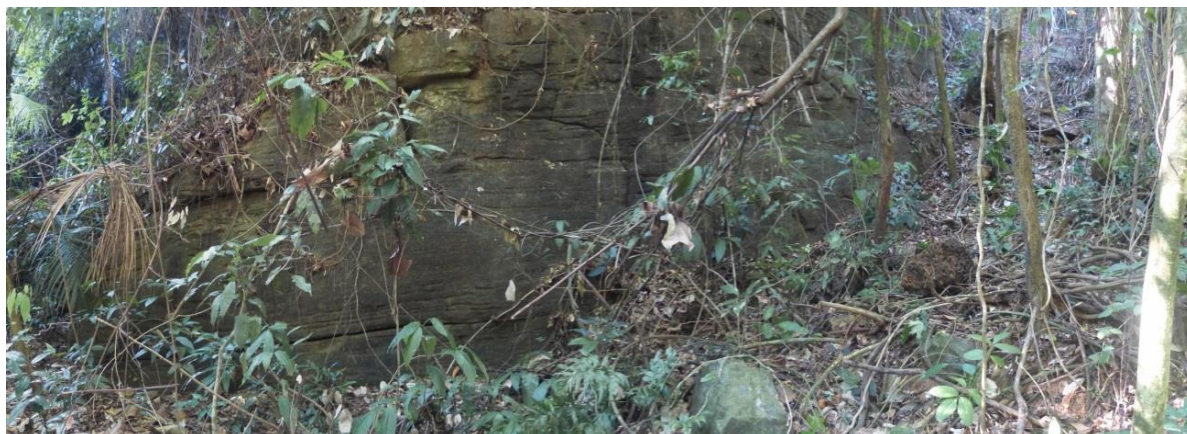


Foto 5.4
Coordenadas: 336.598 O; 7.746.176 S.



Nesse trecho o rio se desenvolve de forma retilínea e os afloramentos rochosos expostos junto às margens são constituídos por gnaisses são, pouco a medianamente fraturados.

Caminhando-se próximo a margem direita do rio para jusante do eixo estudado na primeira fase, os afloramentos são mais frequentes e exibem gnaissificação bem acentuada em superfície, pouco fraturado, a principal fratura é quase sempre subvertical a vertical e, coincidente com o alinhamento do rio nesse trecho.

Para montante do eixo estudado na primeira fase, não foram encontrados afloramentos nessa margem a não ser os existentes em cortes na estrada BR 26.

Nas Fotos 5.5 e 5.6 são vistos os locais junto à beira da estrada, onde foram executadas as sondagens SM-08 e SM-09. A sondagem SM-09 é a mais a montante e está sobre o eixo atual. Em ambas as sondagens foi atravessada uma camada de aterro compactado pertencente à estrada.

Foto 5.5
Coordenadas: 336.485 O; 7.745.944 S.



Foto 5.6
Coordenadas: 336.580 O; 7.746.001 S.



A Foto 5.7 mostra a implantação da plataforma para execução da sondagem SP-10. Nessa região o solo coluvionar/residual é muito pouco espesso.

Foto 5.7
Coordenadas: 336.509 O; 7.746.066 S.



5.4.2.2. Leito do Rio

O leito do rio em toda extensão de interesse é capeado por depósitos aluviais constituídos essencialmente por areias quartzosas a quartzo-feldspáticas de granulação fina a grossa. Essas areias são exploradas através de pequenas dragas e comercializadas como material de construção. As espessuras dessas aluviões são de poucos centímetros até 3 m, segundo relatos coletados no local. Esses relatos também mencionam que as areias são repostas durante as crescidas do rio, sendo assim, os locais de dragagem são quase que fixos. As Fotos 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11, a seguir, mostram aspectos gerais do leito do rio e suas margens.

Foto 5.8
Coordenadas: 336.579 O; 7.746.158 S.



Foto 5.9
Coordenadas: 336.579 O; 7.746.158 S.



Foto 5.10
Coordenadas: 336.602 O; 7.746.188 S.

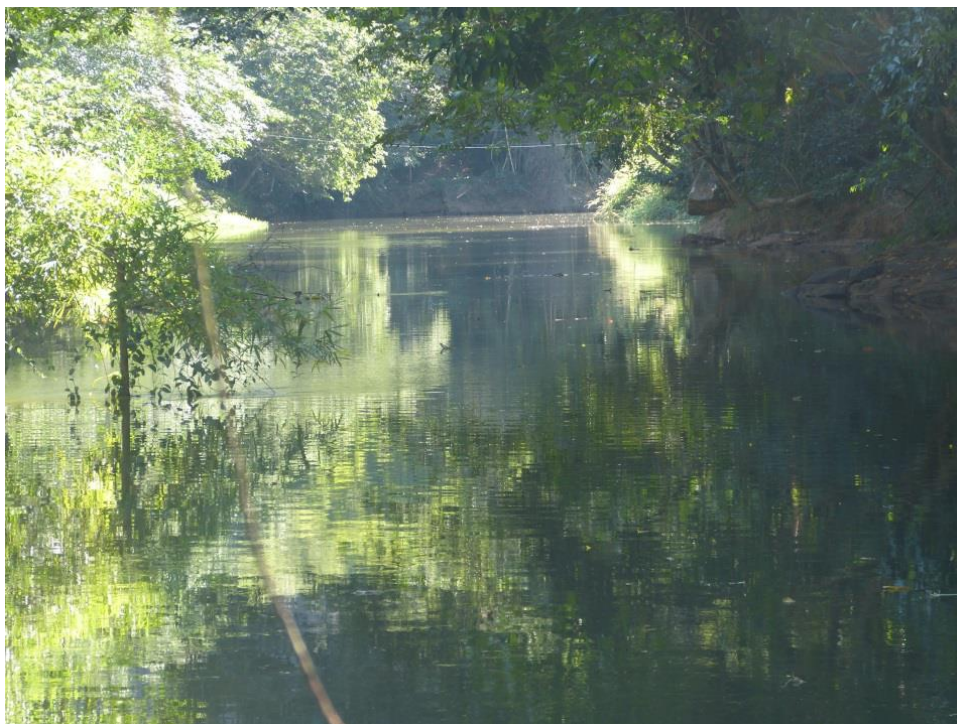
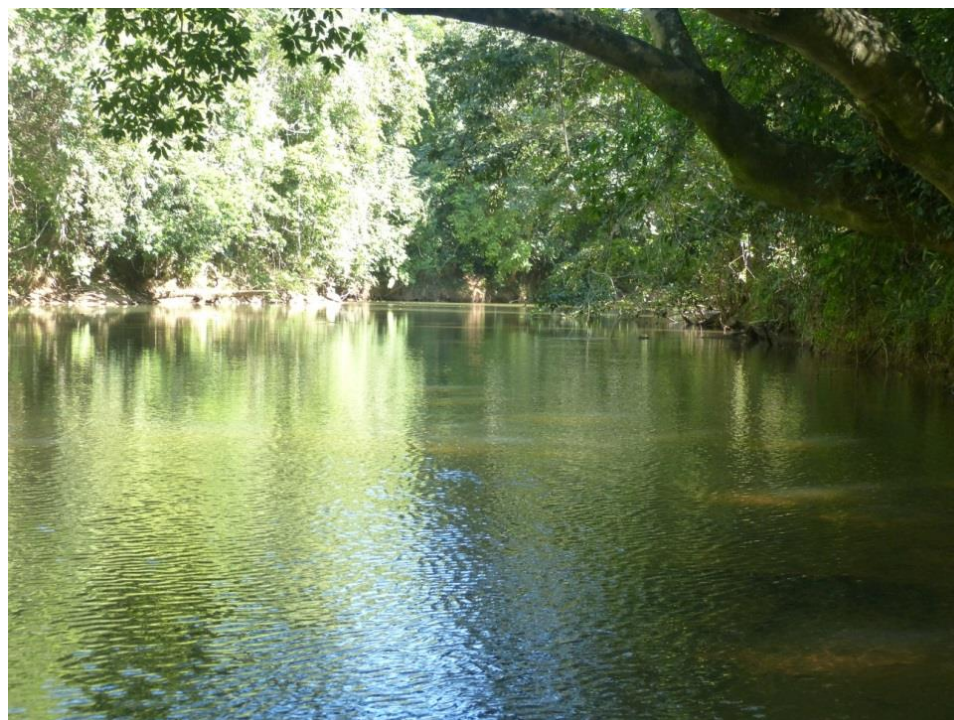
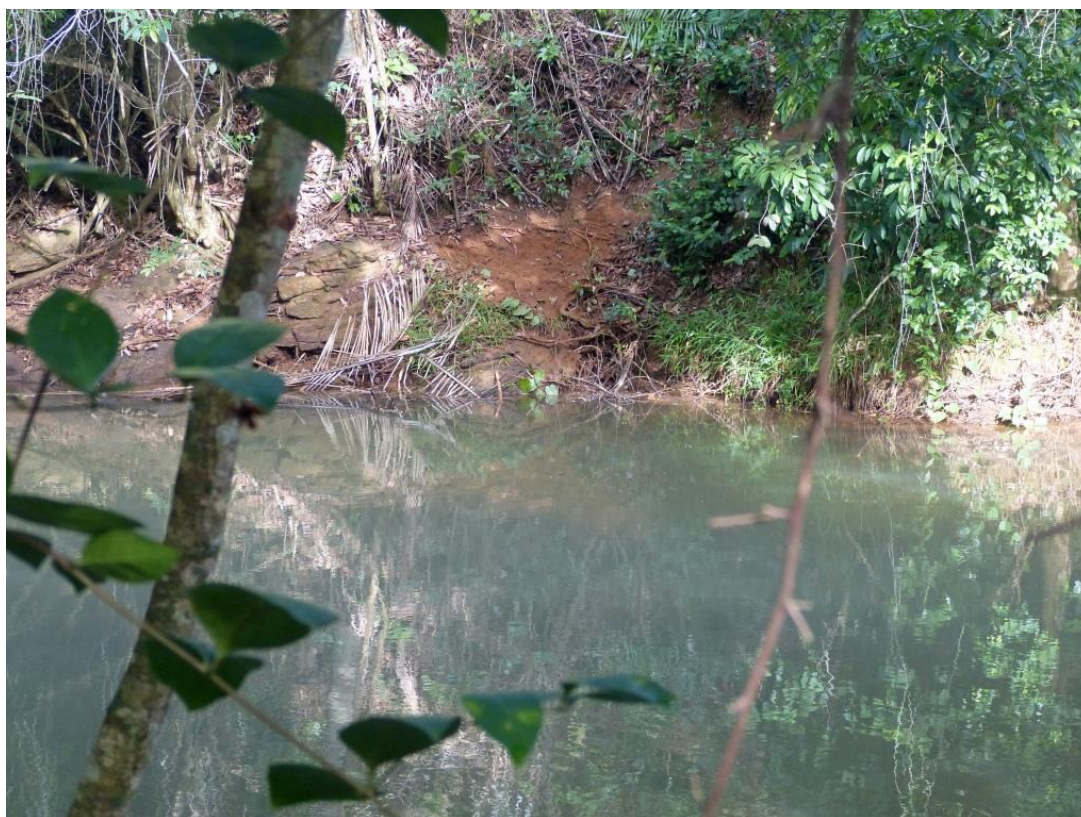


Foto 5.11
Coordenadas: 336.576 O; 7.746.151 S.



A Foto 5.12 foi tirada da margem esquerda para direita, nota-se a presença de rocha ao nível do rio na margem direita, o caminho existente no meio da Foto foi aberto para captação de água para sondagem SP-10 que fica imediatamente acima, um pouco mais para montante.

Foto 5.12
Coordenadas: 336.490 O; 7.746.101 S.



5.4.2.3. Ombreira Esquerda

Na margem esquerda, ocorrem afloramentos em cotas baixas circundando a elevação existente nessa margem, que constitui a ombreira esquerda.

Cerca de 40 m a montante ao afloramento visto na Foto 5.4 também ocorre rocha aflorante ao nível do rio na margem esquerda, Foto 5.12.

Na Foto 5.13, onde o gnaiss se apresenta menos confinado, a gnaissificação se torna mais evidente, com caimento da ordem de 10° a 15° para jusante.

Foto 5.13
Coordenadas: 336.579 O; 7.746.158 S.



As Fotos 5.14 e 5.15 correspondem a um dos afloramentos que são encontrados na margem esquerda no pé do “morro”. Esse afloramento é bastante extenso e exibe um paredão quase vertical coincidente com o principal sistema de fratura de direção N70°E. O afloramento é constituído por gnaiss, são a pouco alterado, com gnaissificação facilmente identificada.

Foto 5.14
Coordenadas: 336.625 O; 7.746.081 S.



Foto 5.15
Coordenadas: 336.605 O; 7.746.083 S.



Nessa ombreira, na região de fechamento da barragem, foi executada a sondagem SR-04 cuja plataforma é mostrada na Foto 5.16. Essa elevação exibe um pequeno capeamento de solo coluvionar seguido de um espesso capeamento de solo residual maduro. A passagem desses solos para a rocha se faz através de uma camada de rocha alterada mole (RAM) pouco espessa. Essa característica também foi observada no lado oposto que faz parte da sela topográfica descrita no item seguinte.

Foto 5.16
Coordenadas: 336.451 O; 7.746.238 S.



5.4.2.4. Sela Topográfica Ombreira Esquerda

Por trás da ombreira esquerda ocorre uma sela topográfica na qual serão implantadas as estruturas do Vertedouro. A parte que faz parte do maciço integrante da ombreira esquerda propriamente dita é constituída por uma elevação em formato de meia laranja, limitada de um lado pelo rio e do outro por uma sela topográfica seguida por uma forte elevação.

No sentido do rio para o interior, na parte elevada dessa sela, foi executada a sondagem SM-12, cujos resultados se assemelham aos obtidos na sondagem SM-04, mencionada no item anterior. As Fotos 5.17 e 5.18 mostram a localização da sondagem SM-12.

Foto 5.17
Coordenadas: 336.451 O; 7.746.238 S.



No meio da Foto 5.17 está situada a sondagem SM-12.

Foto 5.18
Coordenadas: 336.456 O; 7.746.493 S.



A Foto 5.18 foi tirada a partir de um local próximo onde seria executada a sondagem SM-14. Essa sondagem deixou de ser executada, pois o local é constituído por um paredão de rocha são pouco fraturada.

As Fotos 5.19 e 5.20 foram tiradas na central de talvegue da sela topográfica, a primeira para o “piso” e a segunda para a parte baixa da sela. No “piso” é constituído por solo silto-argilo-arenoso de cor ocre com blocos de rocha cobertos por musgos e de formas irregulares com arestas “vivas”.

Foto 5.19
Coordenadas: 336.456 O; 7.746.493 S.



Foto 5.20
Coordenadas: 336.456 O; 7.746.493 S.



As Fotos 5.21 e 5.22 mostram a parte baixa da sela já depois de atravessar sua parte mais profunda. Essa região é próxima do local onde foi executada a sondagem SM-13. Nota-se que o “piso” é constituído por blocos irregulares de arestas vivas e pequenos afloramentos de rocha são a medianamente alterada, no mapa apresentado está denominado de rocha alterada mole (RAM).

Foto 5.21
Coordenadas: 336.455 O; 7.746.402 S.



Foto 5.22
Coordenadas: 336.455 O; 7.746.402 S.



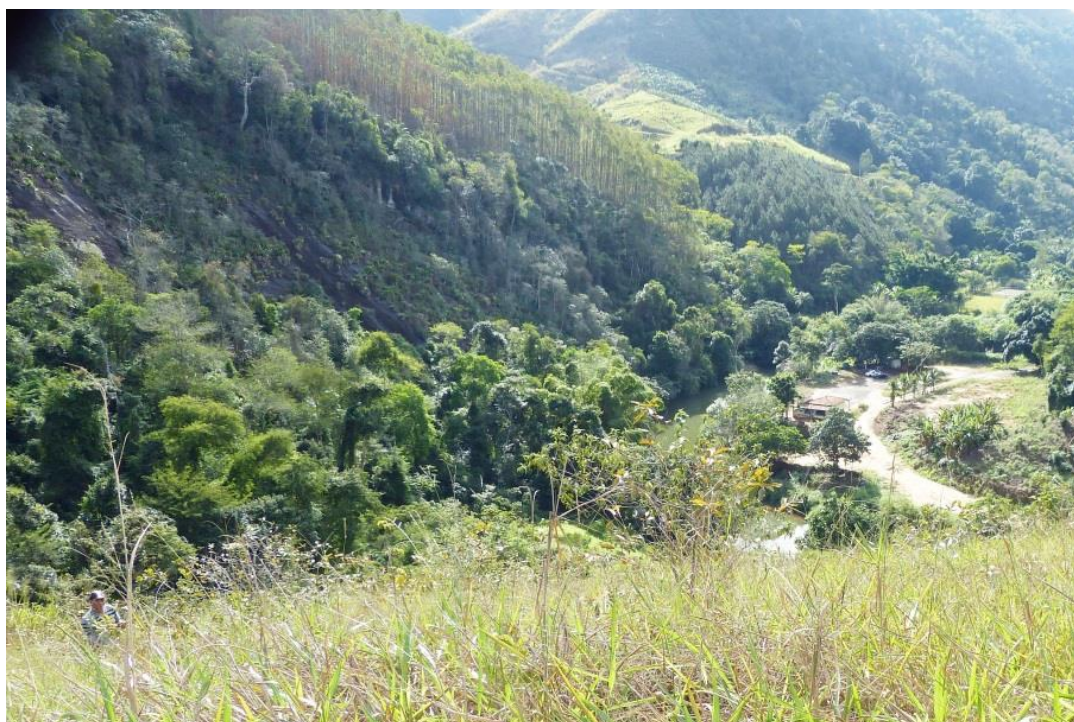
Na Foto 5.23 observa-se um afloramento de rocha contínuo. Esse ponto está no limite estabelecido entre o contato do RMA e o afloramento de gnaiss que ocorre no lado esquerdo da sela. Esse afloramento é constituído de gnaiss são a pouco alterado, exigindo fraturas sub-horizontais concordantes com a gnaissificação e fraturas subverticais. Esse aspecto é totalmente diferente do que pode ser visto na parte superior do maciço.

Foto 5.23
Coordenadas: 336.473 O; 7.746.420 S.



A Foto 5.24 mostra uma vista geral do maciço rochoso que aflora no lado esquerdo da sela, a porção sem vegetação corresponde à presença de rocha sã, muito pouco fraturada. Essa Foto foi tirada a partir da SM-12.

Foto 5.24
Coordenadas: 336.476 O; 7.746.331 S.



A Foto 5.25 mostra a parte alta da sela na sua porção esquerda, o afloramento de rocha está próximo do local onde seria executada a SM-14, cancelada por se tratar de um afloramento rochoso. O maciço rochoso é constituído por gnaiss são muito pouco fraturado. A Foto 5.26 é uma vista geral desse maciço rochoso visto de baixo para cima. A Foto 5.25 situa-se abaixo do bambuzal visto na Foto 5.26.

Foto 5.25
Coordenadas: 336.451 O; 7.746.468 S.



Foto 5.26
Coordenadas: 336.730 O; 7.746.461 S.



5.4.3. Geologia - Geotecnia

Nesse item são descritas as Seções Geológico-Geotécnicas pelas estruturas principais do aproveitamento, considerando o Arranjo Final desenvolvido para o aproveitamento, apresentado no Capítulo 8 deste Relatório Final dos Estudos.

Estas seções foram elaboradas através da interação e interpretação das informações coletadas nos mapeamentos geológicos de superfície e nas sondagens realizadas.

As legendas para as seções geológico-geotécnicas estão apresentadas no desenho A-062-000-00-0-XX-0010 (Volume 2).

A localização das seções geológico-geotécnicas está apresentada nos Mapas Geológico-Geotécnicos Locais, desenhos A-062-000-00-0-XX-0013 e 0014, para as regiões da Barragem/Vertedouro e Casa de Força, respectivamente.

Quanto à representação das sondagens nas seções, observa-se que no cabeçalho dos mini-logs está indicada a distância da sondagem à seção. Quando as sondagens estão fora do alinhamento da seção elas são projetadas através da curva de nível. Esse critério foi utilizado tomando-se em conta as características do maciço rochoso e os processos de alteração e modelagem morfológica observada na região.

5.4.3.1. Seção 1-1 – Longitudinal pelo Eixo do Barramento e do Vertedouro

A Seção 1-1, desenho A-062-000-00-0-XX-0015 (Volume 2), é uma seção longitudinal desenvolvida ao longo da barragem e do vertedouro. Nessa seção foram consideradas as sondagens SM-04, SM-09, SP-10, SP-11, SM-12 e SM-13. Atravessam essa seção as Seções 2-2 a 9-9 que passam pelas principais estruturas da barragem, adução, desvio e vertedouro.

Partindo-se da BR 262 em direção ao rio, foi atravessada na sondagem SM-09 uma camada de aterro compactado, que faz parte das obras realizadas para implantação da estrada. Esse aterro apresentou resistência à penetração superior a 20 golpes chegando a 46 golpes no último ensaio, a profundidade de 10m. Quanto à permeabilidade, esse aterro apresenta valores de baixo a moderado. Abaixo do aterro compactado foi encontrada uma camada de rocha totalmente alterada com cerca de 2m, que foi incluída na designação de rocha alterada mole (RAM). Essa camada em geral se apresenta francamente permeável. Abaixo ocorre um maciço gnáissico de boas propriedades geomecânicas, adequado a implantação de qualquer tipo de obra de engenharia.

Em direção ao rio, a partir da SM-09, pode-se esperar a ocorrência de uma camada de solo coluvionar muito pouco espessa, seguida de uma camada de solo residual maduro. Para efeito de representação gráfica, a camada coluvionar, devido à sua pequena espessura, está representada conjuntamente com a camada de solo residual maduro coluvionar. Abaixo dessa camada pode ser individualizada uma camada de rocha alterada mole (RAM). Há um contraste bem marcante entre a permeabilidade desses materiais: a camada RAM normalmente é muito permeável, podendo, no entanto, ser tratada através de injeções de calda de cimento.

Próximo ao rio, o resultado da sondagem SP-10 foi projetado indicando uma espessura da ordem de 1m para camada coluvionar/residual.

Na margem do rio são encontrados afloramentos rasos mencionados no Item 5.4.2.2 - ver Foto 5.12.

Na calha do rio acima do substrato rochoso ocorrem aluviões constituídos por areias de granulometria de grossa a fina com predominância de areia média. A espessura desses aluviões pode variar de poucos centímetros até cerca de 3m. Nesse trecho do rio, essas areias são exploradas comercialmente como material de construção. Segundo informações colhidas durante os mapeamentos, essas areias são repostas anualmente e, nestas condições, um local pode ser esgotado temporariamente e torna-se produtivo após uma temporada de chuvas.

No sentido da margem para ombreira esquerda ocorre uma região com uma declividade suave, constituída superficialmente por solos preferencialmente arenosos com fragmentos de rocha alterada e, abaixo desses, ocorre uma camada de saprolito e/ou rocha alterada mole (RAM). Esses solos se estendem até cerca de 40m, onde são interrompidos pela presença de um afloramento de gnaiss a semelhança de outros relatados no Item 5.4.2.3. Na seção descrita esse afloramento é constituído por gnaiss, sendo a gnaissificação a estrutura condicionante do principal sistema de fraturas (subhorizontal), dois outros sistemas subverticais também se fazem presentes, um deles paralelo a face do afloramento. A seguir a esse afloramento volta a ocorrer em duas camadas que são individualizadas em coluvionar/solo residual maduro e saprolito/rocha alterada mole (RAM). A espessura da primeira camada alcança 9,45m na sondagem SM-04 projetada para seção. A segunda camada pode exibir uma espessura da ordem de 3m. Passados cerca de 50 centímetros do contato da última camada tem-se um maciço rochoso constituído por um gnaiss de textura fina com poucos porfiroblatos, gnaissificação próxima 450 incipiente, cor cinza claro, são, pouco fraturado. As fraturas no trecho perfurado apresentam-se abertas, oxidadas e rugosas. Esse maciço, sob o ponto de vista de engenharia, apresenta ótimas condições para implantação tanto de estruturas de terra e enrocamento, como estruturas em concreto. Toda essa elevação apresenta as mesmas características.

No lado oposto à sondagem SM-04, foi executada a sondagem SM-12 que foi projetada para a seção. A sondagem SM-12 exibe as mesmas litologias com algumas diferenças de espessuras que estão assinaladas no desenho apresentado.

A partir da projeção da SM-12 após atravessar o ponto mais baixo da Sela topográfica, os solos coluvionar/residual desaparecem, ficando exposto somente uma camada de RAM. Nas partes mais altas fora da seção ocorre um afloramento de grande extensão de gnaiss são muito pouco fraturado.

5.4.3.2. Seção 2-2 – Transversal à Barragem – Ombreira Direita

Essa seção, desenho A-062-000-00-0-XX-0016 (Volume 2), é transversal ao eixo da barragem no extremo da ombreira direita. Nessa seção, a camada de RAM ocorre de forma contínua sobre o maciço rochoso constituído por gnaiss. A camada de solo Co/Sr apresenta-se interrompida pela sua remoção e substituição por aterro compactado, cujas

propriedades foram descritas no item 5.4.3.1. Para o fechamento da barragem considerando a presença de um aterro que faz parte da estrutura da estrada, a barragem de enrocamento deverá transicionar para uma barragem de terra homogênea.

5.4.3.3. Seções 3-3 e 4-4 - Transversais à Barragem – Margem Direita do Rio

A Seção 3-3, desenho A-062-000-00-0-XX-0016 (Volume 2), é transversal ao eixo da barragem no fundo do vale cerca de 17 m da margem direita do rio. Nessa seção estão projetados os resultados das sondagens SP-10 e SM-05. A camada superficial é constituída por Co/Sr com espessuras variáveis, sendo mais espessa a montante do eixo onde pode alcançar cerca de 6 m e menos espessa a jusante da barragem onde não é esperado uma espessura superior a 3 m. Abaixo desse camada ocorre uma camada também contínua de RAM com espessura variável de 3 a 8 m. Por fim, abaixo dessa última camada, encontra-se um maciço constituído por gnaisses de boa qualidade geomecânica adequado à implantação tanto de uma barragem de enrocamento. No extremo da seção a partir da SM-05 ocorre uma camada de aterro pertencente à BR 262.

A Seção 4-4, desenho A-062-000-00-0-XX-0017 (Volume 2), localiza-se cerca de 12 m abaixo da Seção 3-3 bem próximo a margem do rio. Essa seção mostra-se muito semelhante à Seção 3-3.

5.4.3.4. Seções 5-5 e 6-6 – Transversais à Barragem – Margem Esquerda do Rio

A Seção 5-5, desenho A-062-000-00-0-XX-0017 (Volume 2), se situa na margem esquerda numa região onde a morfologia do terreno é mais suave, praticamente tangencia o pé da ombreira esquerda. Nessa região a ocorrência de solos é pouco espessa, não ultrapassando 4 m, chegando a nulo próximo ao eixo da barragem. O substrato rochoso a se julgar pelo afloramento é de boas características geomecânicas.

A Seção 6-6, desenho A-062-000-00-0-XX-0018 (Volume 2), dista cerca de 22 m da seção anterior, já na ombreira propriamente dita. A sondagem SM-03 foi projetada para essa seção. Nessa região a espessura de Co/Sr é bastante espessa, podendo alcançar cerca de 8 m. A camada Co/Sr apresenta uma permeabilidade baixa, tornando-se moderada próximo à camada de RAM. Os ensaios de SPT apresentaram resultados acima de 26 golpes. Abaixo desses solos ocorre uma camada de RAM menos espessa e com espessura mais homogênea, da ordem de 2 m. Os ensaios de SPT mostraram resultados ainda mais altos do que os obtidos na camada superior, no entanto, essa camada tem, de modo geral, permeabilidade alta.

5.4.3.5. Seção 7-7 – Seção ao Longo da Tomada d'Água e Túnel de Desvio / Fechamento da Ombreira Esquerda

A Seção 7-7, desenho A-062-000-00-0-XX-0019 (Volume 2), está situada na margem esquerda, coincidente com as estruturas da Tomada d'Água de Desvio e Túnel de Desvio, que localizam-se no extremo da ombreira esquerda da barragem.

A camada de Co/Sr nas partes mais altas é bastante espessa, ultrapassando aos 10 m. Suas propriedades devem ser idênticas às observadas nas sondagens SM-04 e SM-12, nas quais esses solos apresentam resistência à penetração SPT em geral acima de 20

golpes, podendo atingir mais de 40 golpes. Quanto à permeabilidade, varia de muito baixa a baixa, passando a moderada a alta próximo a camada de RM abaixo. A camada de RM apresenta alta resistência à penetração e permeabilidade alta. Abaixo da camada de RM é encontrado um substrato rochoso constituído de gnaiss são, com passagens de trechos alterados, em geral pouco fraturado, com textura variável de fina a grossa, exibindo porfiroblasto feldspáticos centimétricos. A permeabilidade é alta nos 10 primeiros metros passando a muito baixa. Ao nível do túnel de desvio pode-se esperar um maciço rochoso de boa qualidade geomecânica, que exigirá maiores tratamentos somente na região dos emboques.

5.4.3.6. Seção 8-8 – Transversal ao Vertedouro – lado direito da estrutura

A Seção 8-8, desenho A-062-000-00-0-XX-0020 (Volume 2), está situada na estrutura do vertedouro, perpendicular à sua crista, passando pela sondagem SM-12.

Está sob o domínio geológico-geotécnico da ombreira esquerda da barragem na outra vertente dessa elevação. Da mesma forma, apresenta a camada Co/Sr bastante espessa com mais de 10 m sobrejacente a uma camada de RM pouco espessa, inferior a 2 m. Os solos Co/Sr apresentam resistência à penetração SPT em geral acima de 20 golpes, podendo atingir mais de 40 golpes. Quanto à permeabilidade, varia de muito baixa a baixa, passando a moderada a alta próximo ao contado com a camada de RM. A camada de RM apresenta alta resistência à penetração e permeabilidade alta. Abaixo da camada de RM é encontrado um substrato rochoso constituído de gnaiss são, com passagens de trechos alterados, em geral pouco fraturado, com textura variável de média a grossa, exibindo porfiroblasto feldspáticos centimétricos. A permeabilidade é moderada nos 5 m primeiros metros passando a muito baixa. O maciço rochoso apresenta-se são, coerente e pouco fraturado, adequado para a implantação de uma estrutura de concreto.

5.4.3.7. Seção 9-9 - Transversal ao Vertedouro – lado esquerdo da estrutura

A Seção 9-9, desenho A-062-000-00-0-XX-0020 (Volume 2), está situada na estrutura do vertedouro, perpendicular à sua crista, passando pela sondagem SM-13, justamente na linha de “talvegue” da sela topográfica na qual se insere esta estrutura. Sob o ponto de vista geológico-geotécnico, pode-se considerar que é diferente do contexto descrito na Seção 8-8. A camada de solo Co/Sr não ocorre de forma contínua, existindo apenas nas porções de cotas mais baixas para jusante. A camada RM ocorre de modo contínuo, sendo aflorante em grande parte da seção. O substrato rochoso é de ótima qualidade, o gnaiss visto na sondagem SM-13 apresenta-se mais homogêneo, com textura média a fina, com gnaissificação discreta. A permeabilidade é alta nos 3 primeiros metros e muito baixa nos metros seguintes. Pode-se afirmar que o maciço rochoso é adequado para a implantação de uma estrutura de concreto.

5.5. MATERIAIS NATURAIS DE CONSTRUÇÃO

5.5.1. Solos

Os cortes nas estradas vicinais, ver Fotos 5.27, 5.28 e 5.29 e as sondagens SM-04 e SM-12 mostram a existência de solos na região.

Foto 5.27
Coordenadas: 336.387 O; 7.745.876 S.

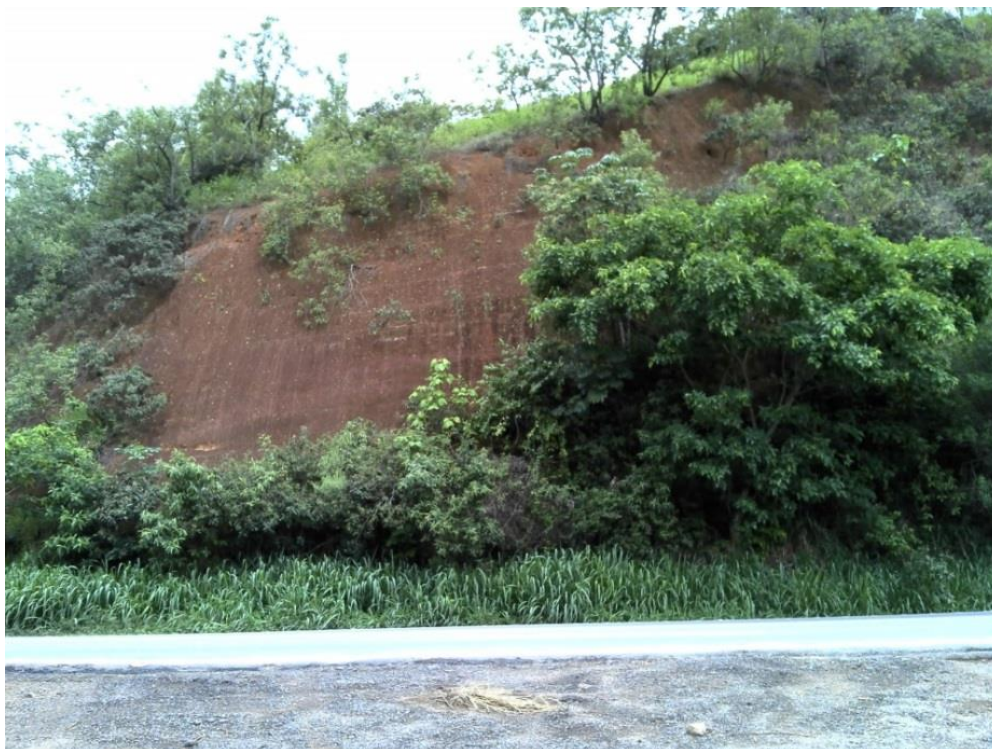


Foto 5.28
Coordenadas: 336.178 O; 7.746.078 S



Foto 5.29
Coordenadas: 336.688 O; 7.745.984 S.



Os solos encontrados formam em geral um perfil completo de alteração desde saprolito (Fotos 5.30 e 5.31, solo residual jovem; Foto 5.32, sobrejacente ao substrato rochoso gnáissico seguido de solo residual maduro; Fotos 5.33 e 5.34). As espessuras desses solos são variáveis podendo o conjunto desses solos atingir espessura superior a 10 m.

Foto 5.30
Coordenadas: 336.910 O; 7.746.363 S.



Foto 5.31
Coordenadas: 336.869 O; 7.746.348 S.



Foto 5.32
Coordenadas: 336.883 O; 7.746.351 S.



Foto 5.33
Coordenadas: 336.844 O; 7.746.338 S.



Foto 5.34
Coordenadas: 336.672 O; 7.746.010 S.



As características tátil-visuais indicam serem adequados para utilização em aterros compactados. A região de ocorrência desses solos está assinalada em vermelho na Figura 5.35, abaixo.

Figura 5.35
Ocorrência de Solos



A indicação das áreas de empréstimos terrosos (AE-01 a AE-05) consta do desenho A-062-000-00-0-XX-0027 (Volume 2).

Cabe destacar que, durante os estudos de Infraestrutura e Logística deste empreendimento, verificou-se que a área denominada por AE-03, e seu entorno, encontra-se em uma região atraente para a implantação dos dispositivos necessários à infraestrutura das obras (canteiro, acampamento, alojamentos, dentre outras edificações). Assim, ficará a critério do construtor, à época da execução das obras, a ratificação do uso desta área, observando-se que as demais áreas de empréstimo (AE-01, 02, 04 e 05) oferecem volumes exploráveis compatíveis à construção das obras de terra.

5.5.2. Areias

Na região ocorrem areias naturais na calha do rio Jucu, que atualmente vem sendo exploradas como agregado fino na construção civil. Existem duas balsas de extração dessas areias, uma está posicionada nas proximidades das coordenadas: 336.626 O; 7.746.372 S, na região do eixo em estudo. A outra está mais a montante nas proximidades das coordenadas: 327.450 O; 7.752.520 S, a montante da PCE São Pedro. Hoje o trecho a jusante da barragem recebe anualmente uma quantidade reduzida de areias cuja exploração atende apenas a pequenas demandas, na Foto 5.36 pode-se observar que a atividade de extração de areias nesse trecho está praticamente paralisada.

Foto 5.36
Coordenadas: 336.324 O; 7.746.123 S.



O trecho de montante apesar de não ser afetado pela barragem, atualmente tem sua disponibilidade de areias também reduzida, pelas condições naturais. Conforme narrativa local, a balsa de montante chegou a extrair cerca de 1200 caminhões de 6 a 7 m³ por ano. Atualmente, devido à falta de grandes cheias no Rio Jucu, não tem havido reposição das areias extraídas e, por isso, estima-se, que o volume disponível não deverá ultrapassar (em 2017) cerca de 200 a 300 caminhões.

A Foto 5.37, a seguir, mostra o posicionamento atual da balsa e a Foto 5.38 a situação atual do estoque de areia.

Foto 5.37
Coordenadas: 327.450 O; 7.752.520 S



Foto 5.38
Coordenadas: 327.613 O; 7.753.301 S.



BARRAGEM NO RIO JUCU - BRAÇO NORTE

Pelo o anteriormente descrito, para a confecção de concretos dever-se-á considerar a utilização de areias artificiais, subproduto da central de britagem. No entanto, pode-se considerar a possibilidade da utilização de aluviões naturais nos filtros nas obras de terra cujas Fotos 5.39, 5.40 e 5.41 mostram suas características granulométricas. Essas areias são constituídas essencialmente de quartzo e apresentam grãos pouco arredondados.

Foto 5.39
Coordenadas: 327.613 O; 7.753.301 S.



Foto 5.40
Coordenadas: 327.613 O; 7.753.301 S.

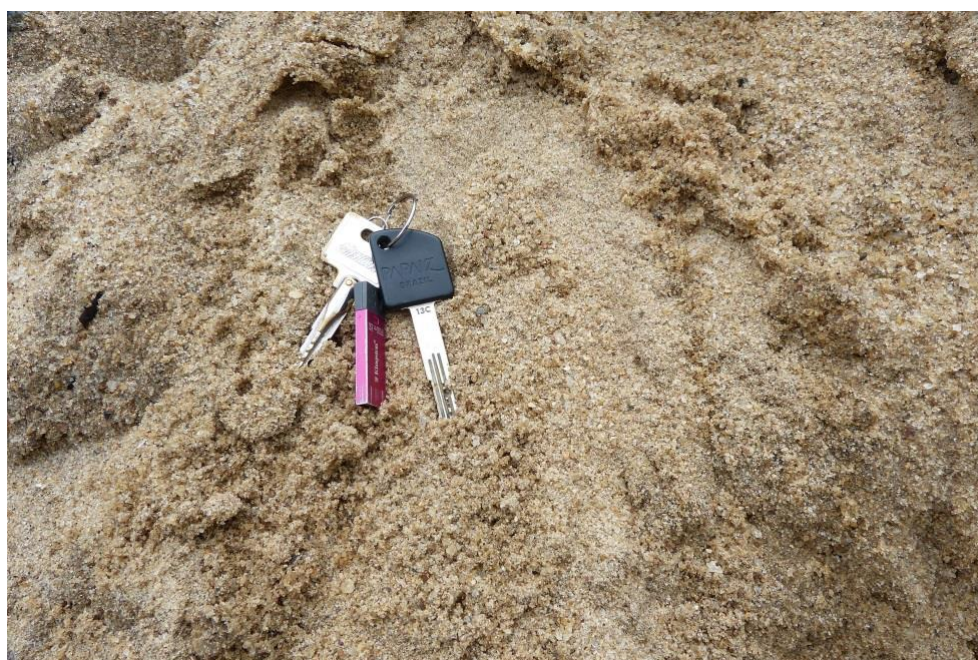
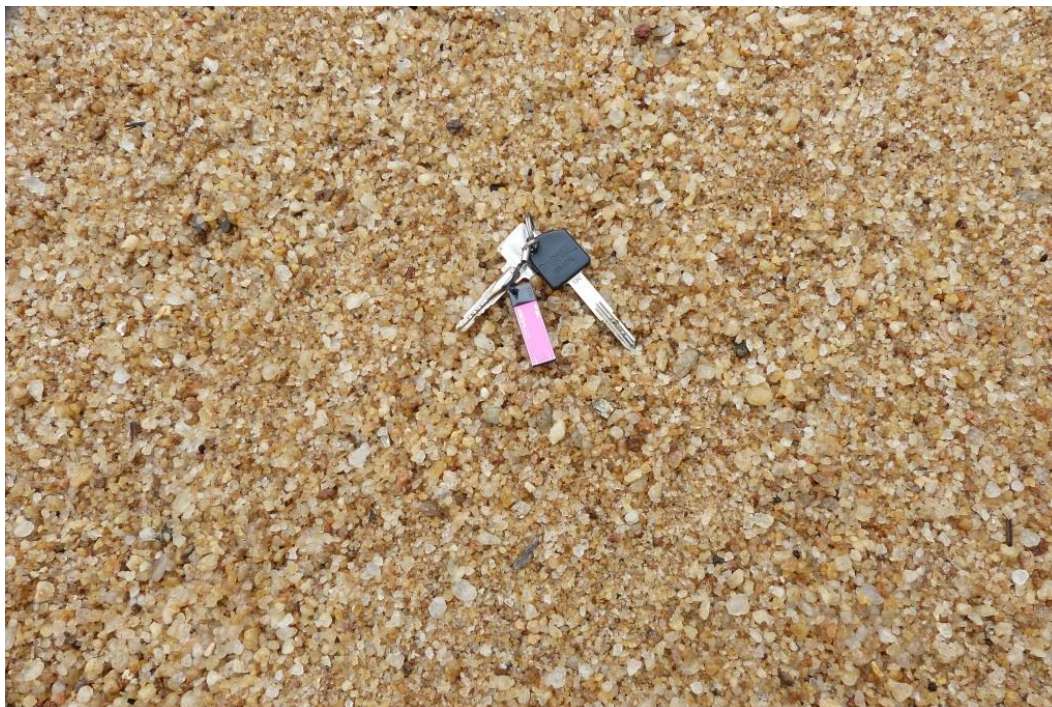
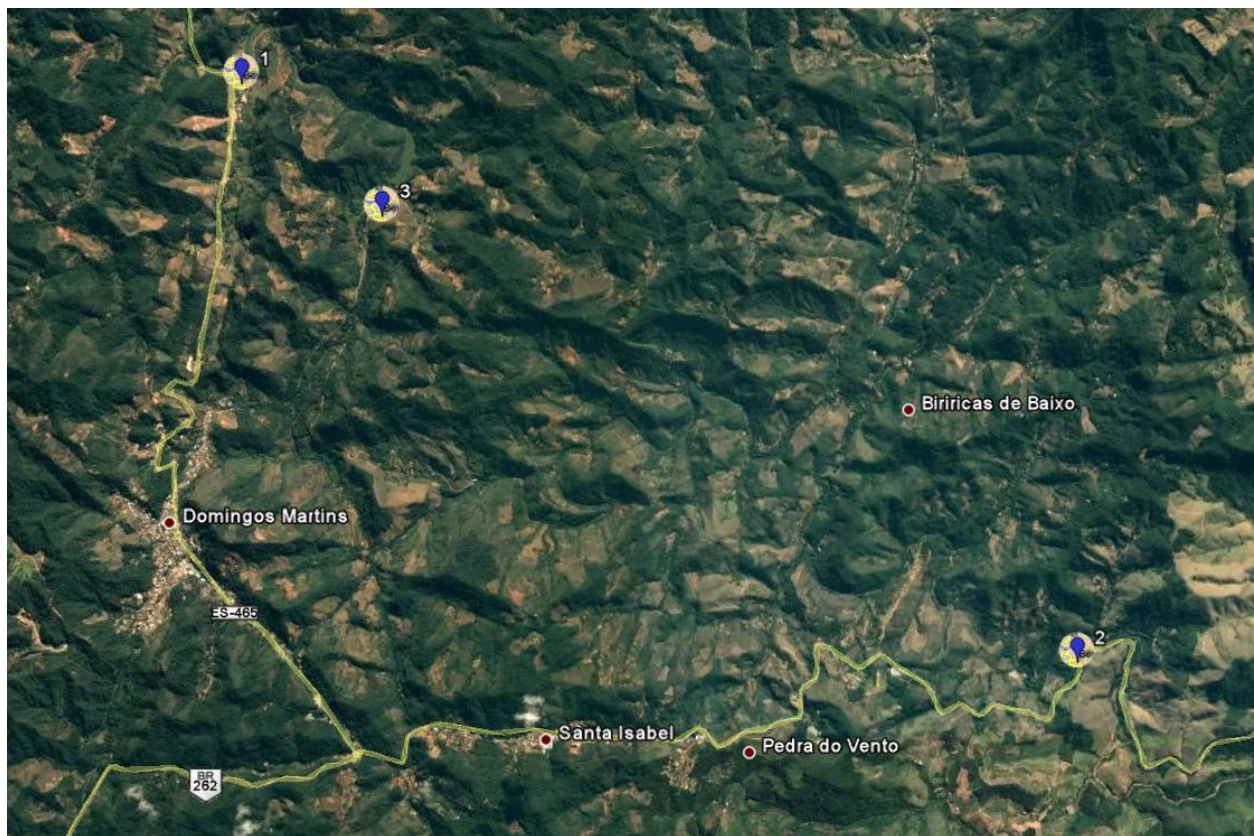


Foto 5.41
Coordenadas: 327.613 O; 7.753.301 S.



A localização dessas áreas está indicada na Figura 5.42, a seguir. O ponto assinalado com o número 1 corresponde ao posicionamento da balsa de montante; o ponto 2 o posicionamento da balsa de jusante, próxima a região em estudo e o ponto 3 a PCH São Pedro.

Figura 5.42
Ocorrência de Areias



5.5.3. Rocha

Na região ocorrem diversos afloramentos de gnaiss, que são adequados tanto para produzir material para enrocamento como para produção de agregado graúdo para confecção dos concretos e areias artificiais. A escolha da frente de exploração estará mais condicionada pela logística de transporte e britagem do que pela presença desses materiais, que são abundantes e de características adequadas às necessidades da obra, no entanto, pode-se considerar inicialmente o afloramento existente na margem esquerda, mostrado na Foto 5.43, a seguir.

Outra fonte a ser considerada são as escavações obrigatórias do túnel de desvio do rio.

Foto 5.43
Coordenadas: 336.579 O; 7.746.464 S.

