

## 7 – DIAGNÓSTICO GEOTÉCNICO

### 7.1 - Introdução

Diagnóstico geotécnico das áreas de influência do empreendimento **Complexo Dois Irmãos, Duas Estrelas e Formoza** foi realizado com o objetivo de caracterizar as propriedades e parâmetros geotécnicos dos materiais inconsolidados presentes, sobretudo, na ADA do empreendimento.

Importante salientar que, no contexto ambiental do meio físico, as informações geotécnicas são necessárias ao diagnóstico e prognóstico de problemas de natureza geológico-geotécnicos e as suas implicações ambientais associados aos materiais inconsolidados, rochosos, as águas (superficiais e subterrâneas) e, principalmente, às diferentes formas de interação destes componentes do meio físico. Uma vez realizado o diagnóstico geotécnico as informações obtidas nesta fase de estudo serão fundamentais ao prognóstico e à mitigação de impactos ambientais relacionados ao ambiente geológico-geotécnico decorrentes das atividades desenvolvidas pelo empreendimento.

Em outros termos, os estudos geológico-geotécnicos podem fornecer importantes informações relativas aos materiais inconsolidados e rochosos visando o entendimento de seu comportamento frente aos processos naturais e/ou induzidos pela ação humana. No caso específico do empreendimento Complexo Dois Irmãos, Duas Estrelas e Formoza, que tem como a principal atividade a agricultura de ciclo anual, a abordagem dos estudos empreendidos privilegiou a susceptibilidade dos materiais inconsolidados (solos) aos processos erosivos e a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.

Inicialmente, procurou-se a caracterização das unidades geotécnicas de materiais inconsolidados presentes na AID e ADA do empreendimento. De antemão, para melhor compreensão dos significados de unidades geotécnicas é necessário entender o que são **materiais inconsolidados**.

O termo aqui empregado - materiais inconsolidados - é uma designação genérica para o solo ou sedimentos, em contraposição aos materiais rochosos. Portanto, materiais inconsolidados são aqueles materiais ditos geológicos, que apresentam baixa resistência mecânica ao ponto de permitir a sua escavação com emprego de equipamentos mecânicos convencionais (pá, picareta, escavadeira, dentre outros), ou seja, sem uso de explosivos.

Materiais inconsolidados que compõem as unidades geotécnicas podem ser de dois tipos quanto a sua natureza: residual e transportado. Materiais residuais são todos aqueles que não sofreram qualquer tipo de transporte posterior à decomposição intempérica da

rocha matriz, enquanto que, os materiais transportados compreendem aqueles que, após a decomposição da rocha matriz, foi transportado para um local distinto de sua origem.

Além da influência dos tipos litológicos na composição mineralógica dos materiais inconsolidados, o relevo, o clima e o lençol freático representam outros fatores fundamentais para a sua evolução.

O relevo suave implica na atenuação dos processos erosivos e em maior tempo para a efetivação dos processos de intemperismo. Se, de um lado, a longa evolução intempérica dos materiais inconsolidados possibilita o desenvolvimento de perfis verticais de grande espessura e mineralogicamente mais evoluídos, de outro, situações em que a superfície topográfica se apresenta mais inclinada, onde os processos erosivos são preponderantes em relação aos processos intempéricos, o manto de alteração exhibe espessura menor e mineralogicamente menos evoluído.

A erosão e o transporte de materiais previamente decompostos pelo intemperismo químico nas porções com declividades mais acentuadas do terreno e a sua deposição em locais topograficamente mais baixos leva à formação de uma cobertura inconsolidada transportada. Os materiais inconsolidados assim formados podem ter a sua evolução em duas etapas: primeiramente na área fonte junto ao material de origem (rocha) e, posteriormente, no local onde foi depositado. Os materiais transportados podem apresentar espessuras variáveis, assim como o grau de evolução intempérica.

Os materiais inconsolidados ao serem submetidos aos diferentes ambientes climáticos da Terra desenvolvem distintas características mecânicas, químicas e mineralógicas e que, por sua vez, resulta em comportamentos distintos frente a determinados usos e aplicações. O discernimento desses comportamentos é fundamental para estudos ambientais e projetos de engenharia civil, agronomia e geologia de engenharia, de acordo com as necessidades e especificidades de cada área do conhecimento. Em termos ambientais, o entendimento acerca do comportamento dos materiais inconsolidados é imprescindível ao diagnóstico, à avaliação, à mitigação e à prevenção de impactos ambientais e à avaliação de riscos geológico-geotécnicos de um determinado empreendimento, em quaisquer de suas fases, desde os estudos preliminares de viabilidade técnico-econômica, projeto básico, projeto executivo, implantação, operação e encerramento, além de estudos de impactos ambientais.

Assim, a investigação geotécnica tem o papel de buscar informações, sobretudo, relativas aos materiais inconsolidados presentes na ADA do empreendimento, e que possibilitem o entendimento de seu comportamento frente aos processos geológicos naturais e/ou induzidos pela ação humana.

Com base nesse entendimento, as informações geológico-geotécnicas que aqui se apresentam constituem parte integrante do diagnóstico do meio físico do EIA, realizado com o objetivo de caracterizar os atributos e as propriedades geotécnicas dos materiais inconsolidados presentes nas áreas de influência do empreendimento Complexo Dois Irmãos, Duas Estrelas e Formosa.

Na fase em que se encontra o empreendimento, em pleno desenvolvimento de suas atividades, a análise geotécnica privilegiou a obtenção de informações quanto à identificação dos tipos de materiais inconsolidados e suas propriedades e parâmetros geotécnicos. Uma vez assim caracterizados foi possível avaliar o seu comportamento frente aos processos naturais (predisponentes) e induzidos (desencadeadores) e que resultam na geração de impactos ambientais, principalmente aqueles associados à erosão do solo e contaminação das águas subterrâneas.

## **7.2 - Contexto geológico-geotécnico regional**

A maior parte da região do Triângulo Mineiro encontra-se inserida na Bacia Sedimentar do Paraná (NISHIYAMA, 1989). Desse modo, as rochas presentes na região são predominantemente de origem sedimentar, pertencentes aos grupos São Bento e Bauru. O primeiro acha-se representado na região pelas formações Botucatu e Serra Geral, enquanto que o segundo, pelas formações Uberaba, Adamantina e Marília. Dentre as unidades litoestratigráficas mencionadas, a única que não possui origem sedimentar é a Formação Serra Geral, sendo esta constituída de basaltos, portanto, de filiação vulcânica.

Em razão de sua natureza sedimentar dos litotipos do Grupo Bauru, dependendo do grau de cimentação das partículas constituintes, estes podem apresentar maior ou menor resistência mecânica. Relativamente às outras rochas de origem magmática ou metamórfica, as rochas sedimentares do Grupo Bauru mostram, em geral, características de baixa resistência mecânica. Os planos de acamamento representam as principais estruturas primárias, enquanto que juntas e diáclases constituem as estruturas secundárias mais frequentes.

A Formação Uberaba, segundo Batezelli (2003), é constituída predominantemente por arenitos e, subordinadamente por lamitos, siltitos e conglomerados. Os arenitos dessa unidade ocorrem sob a forma de corpos lenticulares cujas espessuras variam de 20 centímetros a 1,5 metros, podendo apresentar níveis centimétricos de silito/lamito intercalados.

Os tipos litológicos predominantes na unidade Uberaba configuram-se como rochas que ostentam graus de coerência que variam entre C5 e C4 e resistência à compressão uniaxial  $R_1$  e  $R_2$ , conforme a Tabela 7.2-1, a seguir:

Tabela 7.2-1 – Graus de Coerência de rochas. Fonte: ABGE (1983).

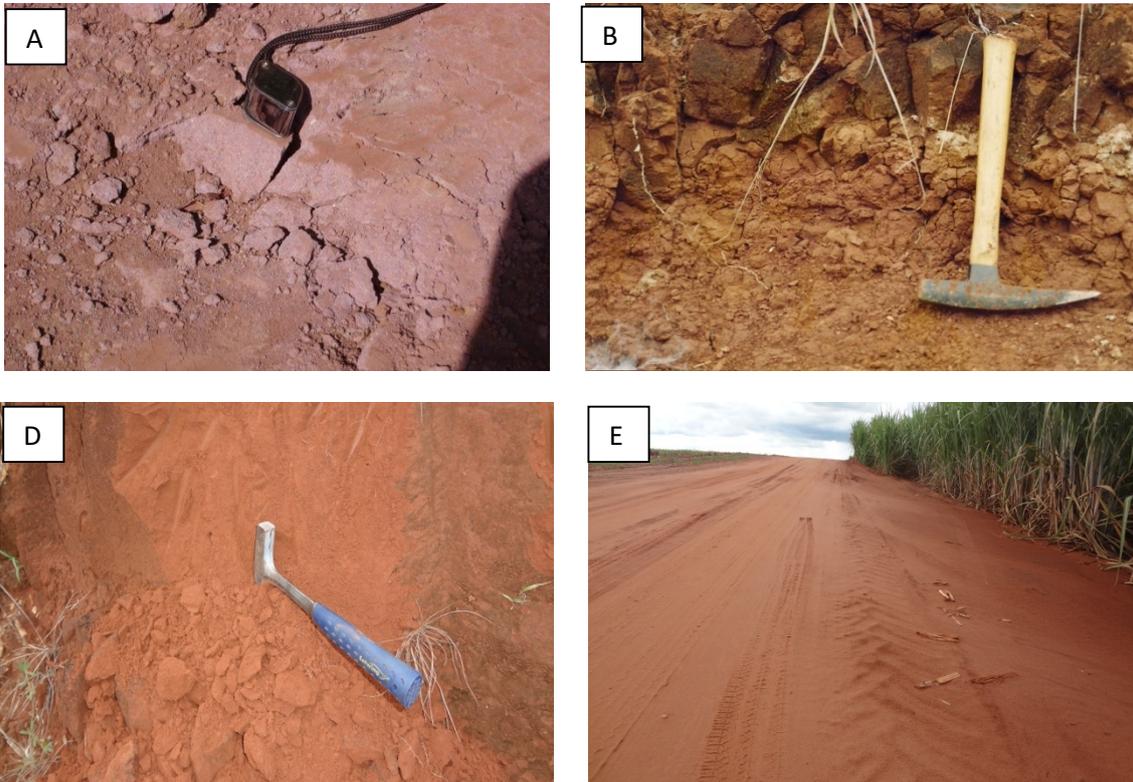
Sigla	Rocha	Característica	Resistência a compressão uniaxial (Mpa)*	
			$R_0$	
C5	Extremamente Branda	Marcada pela unha	$R_0$	0,25 – 1,0
	Muito Branda	Esmigalha-se sob impacto da ponta do martelo de geólogo; pode ser raspada por canivete.	$R_1$	1,0 – 5,0
C4	Branda	Pode ser raspada por canivete com dificuldade; marcada por firme pancada com ponta de martelo de geólogo.	$R_2$	5,0 – 25,0
C3	Medianamente Resistente	Não pode ser raspada por canivete. Amostras podem ser fraturadas com um único golpe de martelo de geólogo.	$R_3$	25,0 – 50,0
C2	Resistente	Amostras requerem mais de um golpe de martelo para fraturarem-se	$R_4$	50,0 – 100,0
C1	Muito Resistente	Amostras requerem muitos golpes de martelo para fraturarem-se	$R_5$	100,0 – 250,0
	Extremamente Resistente	Amostras podem ser apenas lascadas com martelo de geólogo	$R_6$	>250,0

(\*) 1,0 Mpa = 10,0 kgf/cm<sup>2</sup>

Arenitos finos avermelhados com ou sem cimentação carbonática são os tipos litológicos predominantes da Formação Adamantina. De uma maneira geral podem ser classificados quanto ao grau de coerência, segundo ABGE (1983), como C5 (muito branda) e, eventualmente C4 (branda). A resistência à compressão simples está compreendida entre 1,0 e 25,0 Mpa.

A Figura 7.2-1, a seguir, apresenta diferentes estágios de alteração intempérica de arenitos da Formação Adamantina:

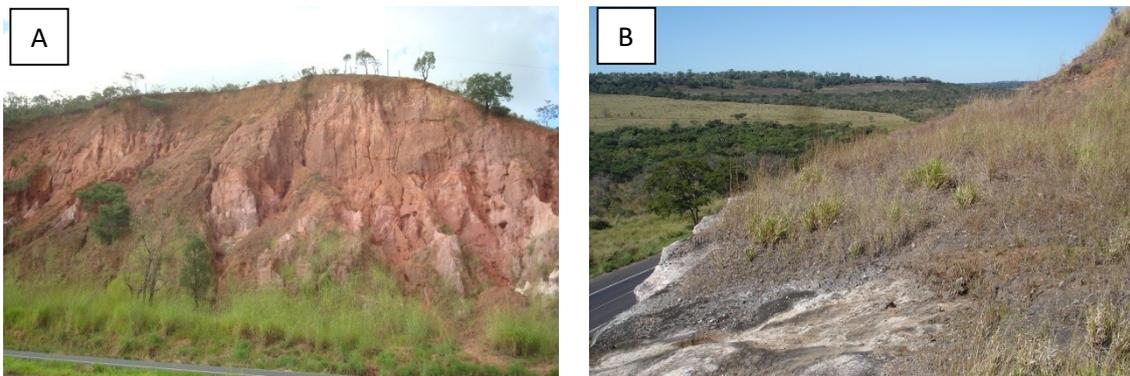
Figura 7.2-1 – Estágios de alteração intempérica de arenitos da Formação Adamantina: (A) arenito pouco alterado; (B) arenito decomposto com material siltoso na base; (C) solo residual de arenitos; (D) perfil de solo derivado de arenito Adamantina e; (E) leito de estrada em solo arenoso derivado de arenito Adamantina.



Os principais tipos litológicos da Formação Marília presentes na região são os arenitos, arenitos conglomeráticos com cimentação carbonática e conglomerados silicosos sustentados por matriz carbonática (Figura 7.2-2). A diversidade litológica e a intensidade de cimentação influem nos graus de coerência das rochas dessa unidade geológica, os quais podem apresentar variações significativas.

Dessa forma, arenitos da subunidade Serra da Galga classificam-se como rochas extremamente brandas (C5) e resistência compressão simples  $R_0$ . Por outro lado, os arenitos conglomeráticos e conglomerados silicosos e matriz carbonática do Membro Ponte Alta mostram graus de coerência entre C5 e C4 e resistência à compressão simples  $R_1$  e  $R_2$ .

Figura 7.2-2 – (A) Arenitos da Formação Marília – Membro Serra da Galga (fotografia obtida em talude da BR-050, km 128,3) e; (B) calcários silicosos da Formação Marília – Membro Ponte Alta (BR-050 km 133).



A sucessão de derrames de lavas basálticas, ocorrida em um intervalo de tempo de aproximadamente 30 milhões de anos, resultou em um empilhamento de corpos rochosos tabulares por vezes separados por arenitos eólicos, principalmente na porção de base da unidade Serra Geral. Normalmente, os corpos formados pelos derrames individuais encontram-se separados entre si por descontinuidade que podem representar um hiato de tempo de milhões de anos, também conhecida como discordância. A concentração de bolhas de gases durante o resfriamento das lavas basálticas nos topos dos derrames resultou na formação de um tipo específico de basaltos com estruturas vesicular e/ou amigdaloidal. No interior dos derrames ocorre o tipo maciço.

Os tipos vesiculares e amigdaloidais são mais susceptíveis à ação dos agentes do intemperismo químico do que o basalto maciço. Desse modo, é comum se observar nos corpos de basaltos porções que exibem decomposição mais acentuada.

Os basaltos da Formação Serra Geral, distintamente das litologias sedimentares do Grupo Bauru, apresentam elevada resistência mecânica e exibem alta densidade de fraturas que, em sua maioria, correspondem às juntas de contração desenvolvidas durante o resfriamento magmático.

Os basaltos inalterados da Formação Serra Geral presentes na região podem ser classificadas, segundo ABGE (1983), quanto ao grau de coerência como rochas muito resistentes ou C1, com resistência à compressão simples  $R_5$  (100 a 250 Mpa) (Figura 7.2-3).

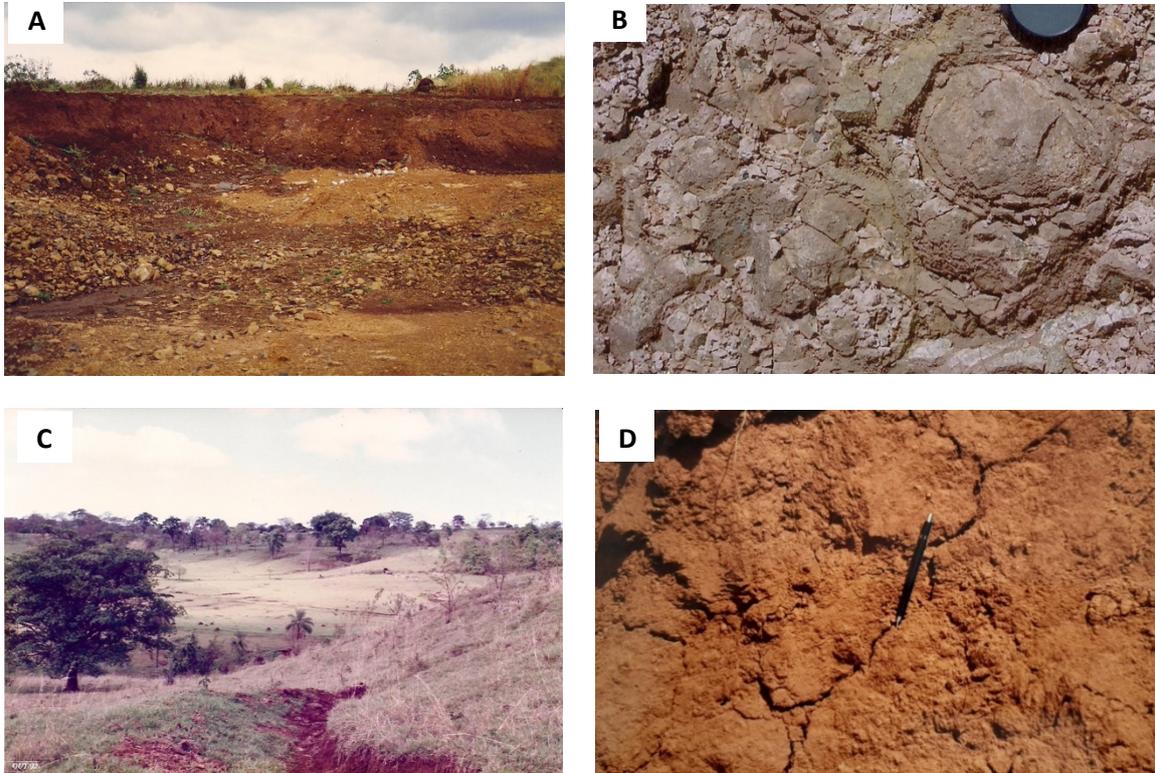
Figura 7.2-3 – Basalto do tipo maciço sem sinais evidentes de alteração, muito resistente (C1).



Basaltos vesículo-amigaloidais são menos resistentes que os tipos maciços. Em geral os graus de coerência variam entre C4 e C3, respectivamente rocha branda e medianamente resistente. Quanto a resistência à compressão simples é variável entre 5,0 e 50 Mpa.

Os basaltos da Formação Serra Geral ao sofrerem intemperismo químico dão origem a materiais inconsolidados com características mecânicas e químicas distintas. A ação dos agentes do intemperismo produz inicialmente a mudança da coloração, que passa de preta para diferentes tons de cinza, além da perda do brilho da superfície exposta. À medida que o intemperismo progride para o interior dos blocos rochosos, a coloração tende para as matizes de amarelo e/ou vermelho. Na fase seguinte, com a progressão do intemperismo, os blocos adquirem a forma arredondada devido à maior intensidade do ataque químico sobre os vértices e arestas (Figura 7.2-4A). Nesse momento também se formam as camadas concêntricas conhecidas como esfoliação esferoidal, estruturas típicas de rochas intensamente decompostas, já na fase de saprólito (termo que pode ser traduzido com “rocha podre”), que devido a sua baixa resistência mecânica pode ser considerado um tipo de material inconsolidado (Figura 7.2-4B) e, mais adiante, com o avanço do intemperismo, o saprólito evolui para solo (Figura 7.2-4C e D).

Figura 7.2-4 – Basaltos decompostos em distintas etapas: (A) afloramento de basaltos muito decompostos, porém com blocos ainda em processo de decomposição; (B) Afloramento de basalto totalmente decomposto, com ausência de blocos de rocha e decomposição típica por exfoliação esferoidal; solo residual de basalto revestindo a superfície do terreno (C) e detalhe de solo de basalto (D).



O progresso do intemperismo químico em basaltos além da fase de saprólito, de início leva à formação de materiais inconsolidados ainda pouco evoluídos, evidenciada pela predominância da fração granulométrica de dimensões de silte (0,002 a 0,06 mm). Com a continuidade do intemperismo, sob a condição de baixa declividade, as partículas de silte são quebradas em fragmentos minerais menores, de dimensões coloidais, isto é, de argila (< 0,002 mm).

Mesmo atingindo uma fase avançada de evolução química e mineralógica dos materiais inconsolidados derivados de basaltos, o intemperismo químico continua a agir no perfil, sobretudo no nível mineralógico, concentrando os óxidos e sesquióxidos de ferro e de alumina, na forma anidra ou hidratada. Nessa fase, as partículas de minerais planares de dimensões coloidais (argilo-minerais), a exemplo da caulinita, passam a ser cimentadas pelos óxidos e hidróxidos de Fe formando aglomerados ou “grumos”. Assim, à medida que processo de cimentação das partículas de dimensões coloidais avança, os solos argilosos de basaltos tornam-se mais porosos e permeáveis.

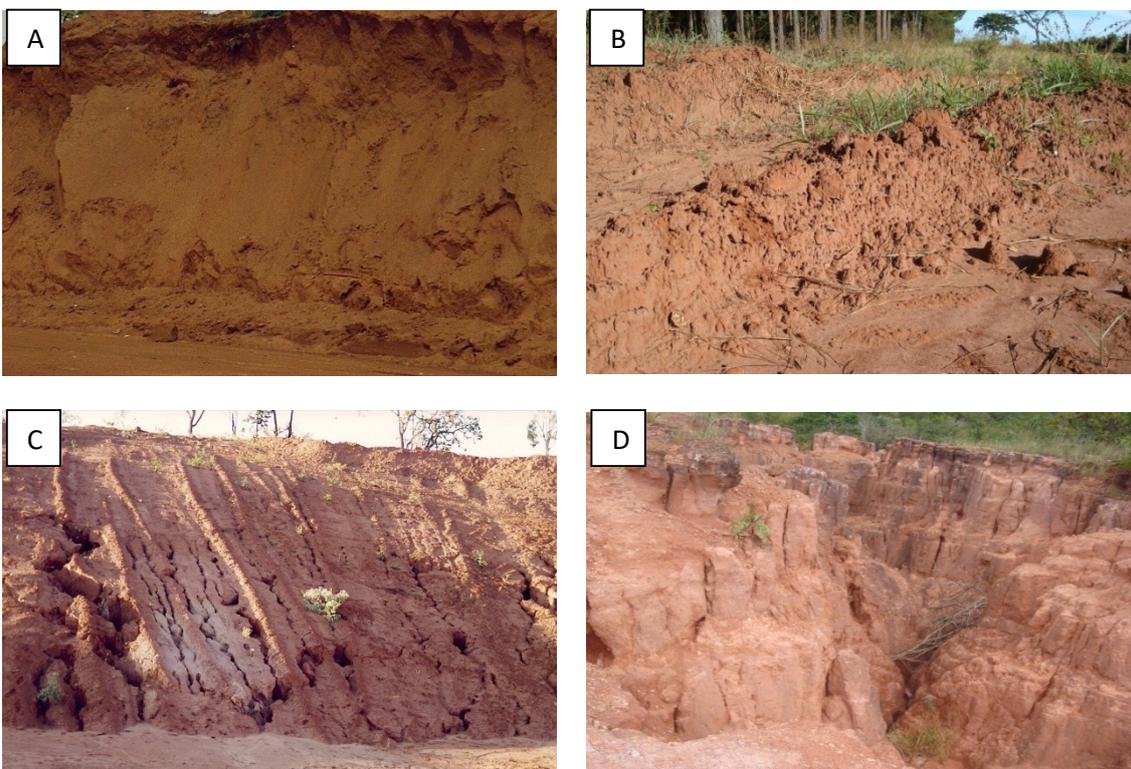
Materiais inconsolidados derivados de basaltos ostentando diversas características mineralógicas, químicas, granulométricas e mecânicas podem ser observados nos vales

dos grandes rios que drenam a região e seus afluentes, tais como: Grande; Paranaíba; Araguari; Uberabinha; Tijuco; da Prata e das Pedras.

Materiais inconsolidados arenosos, com proporções variáveis das frações argila, silte e pedregulho ocorrem na região, sobretudo nos espigões divisores de bacias hidrográficas, derivados de arenitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados das formações Adamantina e Marília. Apresentam espessuras maiores nas porções mais planas, variando entre 5 e 20 metros. Ao contrário, nas porções topograficamente mais declivosas a espessura raramente ultrapassa o limite de 5 metros, às vezes com exposição direta de materiais rochosos.

Em geral apresentam características de elevada porosidade e permeabilidade dada à sua composição granulométrica predominantemente arenosa e, por essa razão, são muito susceptíveis a ação erosiva das águas pluviais. São comuns nas porções de ocorrência o desenvolvimento de feições erosivas aceleradas do tipo ravinas e voçorocas, principalmente quando o uso do solo é realizado sem o manejo adequado (Figura 7.2-5).

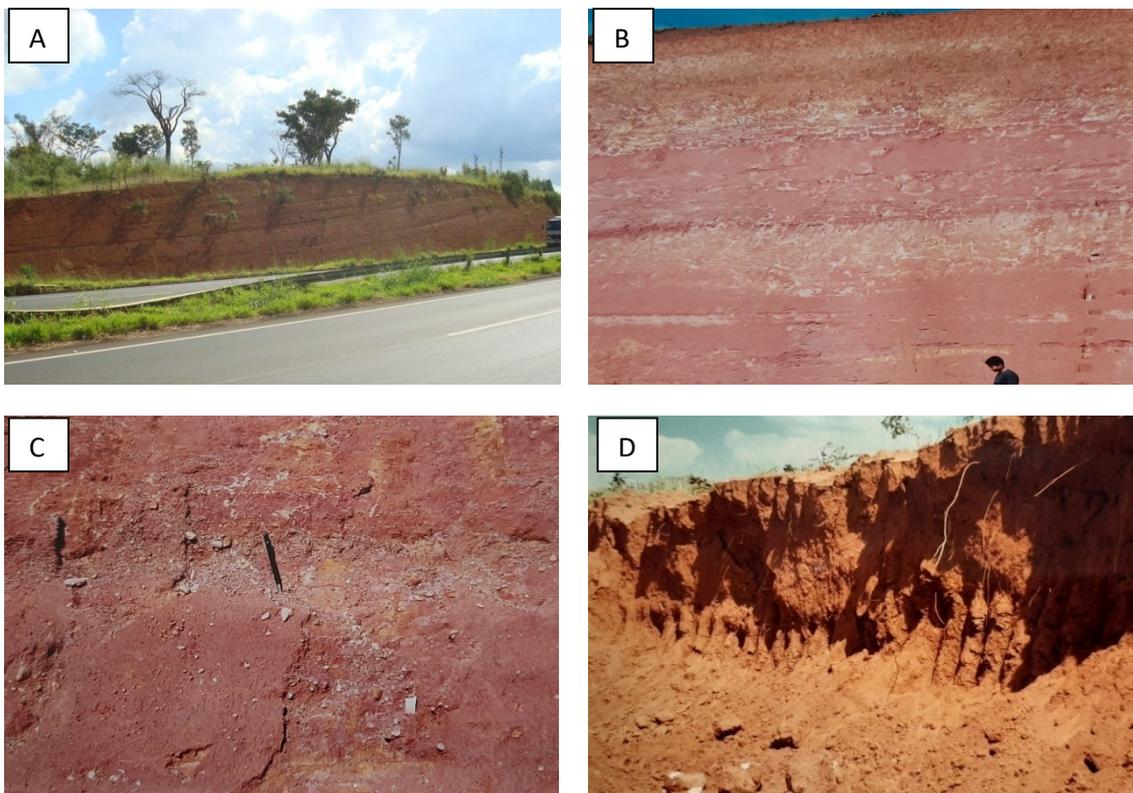
Figura 7.2-5– Materiais inconsolidados residuais de arenitos da Formação Adamantina (A e B) e; residuais de arenitos da Formação Marília – Membro Serra da Galga (C e D) presentes no Sul do município de Uberlândia.



Uma espessa cobertura inconsolidada de textura argilo-arenosa recobre as superfícies aplainadas de chapadas da região do Triângulo Mineiro, ostentando concreções nodulares limoníticas de dimensões milimétricas, mais raramente centimétricas,

especialmente nos primeiros metros do perfil. Estes materiais inconsolidados são geneticamente relacionados à cobertura Cenozóica pós-Cretácica, cuja espessura máxima é da ordem de 30 metros (Figura 7.2-6).

Figura 7.2-6 – Materiais inconsolidados derivados de sedimentos cenozóicos presentes nos topos das chapadas: (A) cobertura inconsolidada argilo-arenoso; (B e C) cobertura concrecionária e; (D) material inconsolidado argilo-arenoso.



Materiais inconsolidados de cobertura de chapadas de uma maneira geral apresentam elevada porosidade devido ao desenvolvimento de macroporos, sobretudo na porção superior do perfil. A estrutura porosa resultou da cimentação das partículas de argila durante o processo de evolução do perfil, mais especificamente, das lamelas de caulinita por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, resultando na formação de um esqueleto mineral estável (agregado), conforme ilustrado na Figura 7.2-7.

A despeito da estabilidade desses agregados na natureza, em condições de sobrecarga imposta por alguma edificação ou por intenso manuseio com equipamentos de compactação ou agrícola ou, ainda, por adição produtos que alteram o pH do solo, o esqueleto mineral pode ser quebrado. Nesse caso, a camada superficial inconsolidada pode sofrer uma redução de volume por colapso da estrutura porosa. Na geotecnia os solos que apresentam essa propriedade são conhecidos como solos colapsíveis. Esse comportamento é indesejável na engenharia de solos. Quando não detectados previamente, podem acarretar danos às estruturas implantadas, tais como: fundação rasa

em obras residenciais de baixo custo, muros, estradas pavimentadas, dentre outras. Ademais, a formação de agregados implica no aumento da susceptibilidade erosiva de solos argilosos das chapadas.

Figura 5.2-7- Agregados de solo formados por cimentação de partículas de argila pelo óxido de ferro.



A estrutura porosa por sua vez implica em elevada permeabilidade dessa cobertura inconsolidada devido à intercomunicação dos macroporos. A facilidade com que as águas de precipitação atmosférica infiltram nessa cobertura torna as chapadas da região uma importante área de recarga de aquíferos.

Localmente, o lençol freático raso é outro fator que influi nas características mecânicas e mineralógicas dos materiais inconsolidados. Em condição de saturação hídrica permanente ou intermitente estes evoluem mediante processos físico-químicos desencadeados pela ação de água, que são conhecidos pela designação hidromorfia. Assim, os materiais inconsolidados evoluídos sob estas condições recebem a denominação hidromórficos.

Também não se pode desprezar a influência da matéria orgânica na sua evolução. Nesse ambiente com pH baixo (<5) ocorre a redução do ferro, que passa de  $Fe^{+3}$  para o  $Fe^{+2}$ , isto é, do estado férrico para ferroso. Ao se processar essa transformação química do ferro, a coloração do solo se torna acinzentada, o que indica a ausência do ferro no estado oxidado ( $Fe^{+3}$ ), podendo ocorrer, ou não, a presença do ferro reduzido ( $Fe^{+2}$ ) (RESENDE et al, 2002). Materiais inconsolidados que exibem tais características são comuns nas porções de nascentes, nas veredas, nos fundos de vales fluviais e nas

porções deprimidas de chapadas, onde normalmente se encontram associados à exposição permanente do lençol freático.

A coloração do solo também é determinada pela composição mineralógica. Assim, a coloração vermelha está associada à presença de óxido de ferro anidro em porções de boa drenagem (solos permeáveis). O principal mineral de ferro que determina essa coloração é a hematita, mesmo que em baixa concentração. Por sua vez, solos que ostentam coloração amarelada, castanho ou ocre indicam a presença da forma hidratada do ferro, ou seja, na forma de hidróxidos, cujo mineral é a goethita, comum em ambiente em que ocorre a saturação hídrica temporária em solo com drenagem deficiente.

Em razão da extensão territorial, o Triângulo Mineiro apresenta grande diversidade em termos de unidades geotécnicas as quais estão geneticamente relacionadas aos tipos litológicos presentes na região.

### **7.3 - Caracterização geotécnica da AID**

A AID do empreendimento localiza-se na área de ocorrência de arenitos finos avermelhados da Formação Adamantina. Desse modo, os materiais inconsolidados presentes na AID evoluíram a partir dos litotipos dessa unidade geológica.

Nishiyama (1988) ao realizar o mapeamento geotécnico do município de Uberlândia identifica cinco unidades de materiais inconsolidados na AID:

- Residuais de pequena espessura da Formação Adamantina areno-siltoso espessura <2 metros
- Residuais da Formação Adamantina areno-argiloso, espessura > 5 metros
- Residuais da Formação Adamantina areno-argiloso (menor teor de argila que a unidade 2) espessura > 5 metros
- Transportado (colúvio) areno-argiloso, contendo pedregulhos e seixos, espessura variável entre 2 e 5 metros.
- Transportado (depósitos aluvionares, coluvionares indifrenciados), areias e cascalhos, níveis argilosos e/ou orgânicos.

#### **7.3.1 – UNIDADE 1 - Residuais da Formação Adamantina – espessura < 2,0 metros**

De acordo com Nishiyama (1998), a unidade Residuais da Formação Adamantina – espessura menor que 2 metros encontra-se presente nas encostas dos vales fluviais dos córregos afluentes dos rios Estiva e Panga. Os materiais inconsolidados pertencentes a essa unidade revestem parcialmente as camadas ou bancos com litotipos mais

resistentes da Formação Adamantina (arenito fino argiloso) cimentados por uma matriz argilosa e/ou pelo carbonato de cálcio.

Devido à maior resistência oferecida aos processos erosivos em relação às litologias com maior teor em areia, propiciam o desenvolvimento de superfícies de elevada declividade que, não raras vezes, assume uma configuração que sobressalta no perfil da encosta fluvial como uma forte ruptura positiva de relevo.

As áreas que melhor caracterizam os materiais residuais de pequena espessura relacionados à litologias da Formação Adamantina na ADA estão localizadas na porção médio-superior das vertentes fluviais do córrego Santa Maria e de seu afluente, o córrego Cachoeira d'água (Figura 7.3.1-1). Na AID esta unidade acha-se presente nas cabeceiras dos córregos do Glicério, Bebedouro e Olhos d'água.

Figura 7.3.1-1 – Residuais de pequena espessura derivados de arenitos da Formação Adamantina.



De uma maneira geral, as espessuras apresentadas por esses materiais residuais são inferiores a 2 metros, porém, é comum se observar exposições diretas de arenitos.

Ensaio de laboratório e *in situ* realizados por Nishiyama (1998) em materiais residuais de pequena espessura da Formação Adamantina apresentaram os seguintes valores (Tabela 7.3.1-1):

Tabela .7.3.1-1 – Resultados de ensaios em laboratório e *in situ* realizados nos materiais inconsolidados residuais da Formação Adamantina. *Fonte: Nishiyama, 1998.*

$\gamma_d$	$\gamma_s$	e	n	CTC	SE	IB	granulometria (%)			
g/cm <sup>3</sup> máx/min	g/cm <sup>3</sup> máx/min	máx/min	% máx/min	meq/100g máx/min	m <sup>2</sup> /g máx/min	mm.h <sup>-1</sup> máx/min	máx/mín.			
							p	ar	si	ag
1,712/ 1,131	3,13/ 2,68	1,529/ 0,709	0,605/ 0,414	2,11/ 0,70	16,51/ 5,50	233,0/ 37,3	- -	78,0/ 25,7	23,7/ 5,0	54,7/ 15,0

$\gamma_d$  = massa específica seca de campo

$\gamma_s$  = massa específica dos sólidos

e = índice de vazios

n = porosidade

ar = areia

CTC = Capacidade de troca catiônica

SE = Superfície Específica

IB = Infiltração básica

si = silte

ag = argila

O mapa da Figura 7.3.1-2 mostra a distribuição espacial das unidades geotécnicas presentes na AID e ADA do empreendimento.

O mapa da Figura 7.3.1-3 mostra as espessuras das unidades geotécnicas presentes na AID e ADA do empreendimento.

Figura 7.3.1-1 – Unidades geotécnicas presentes na AID e ADA do empreendimento. Fonte: Nishiyama, (1988), modificado.

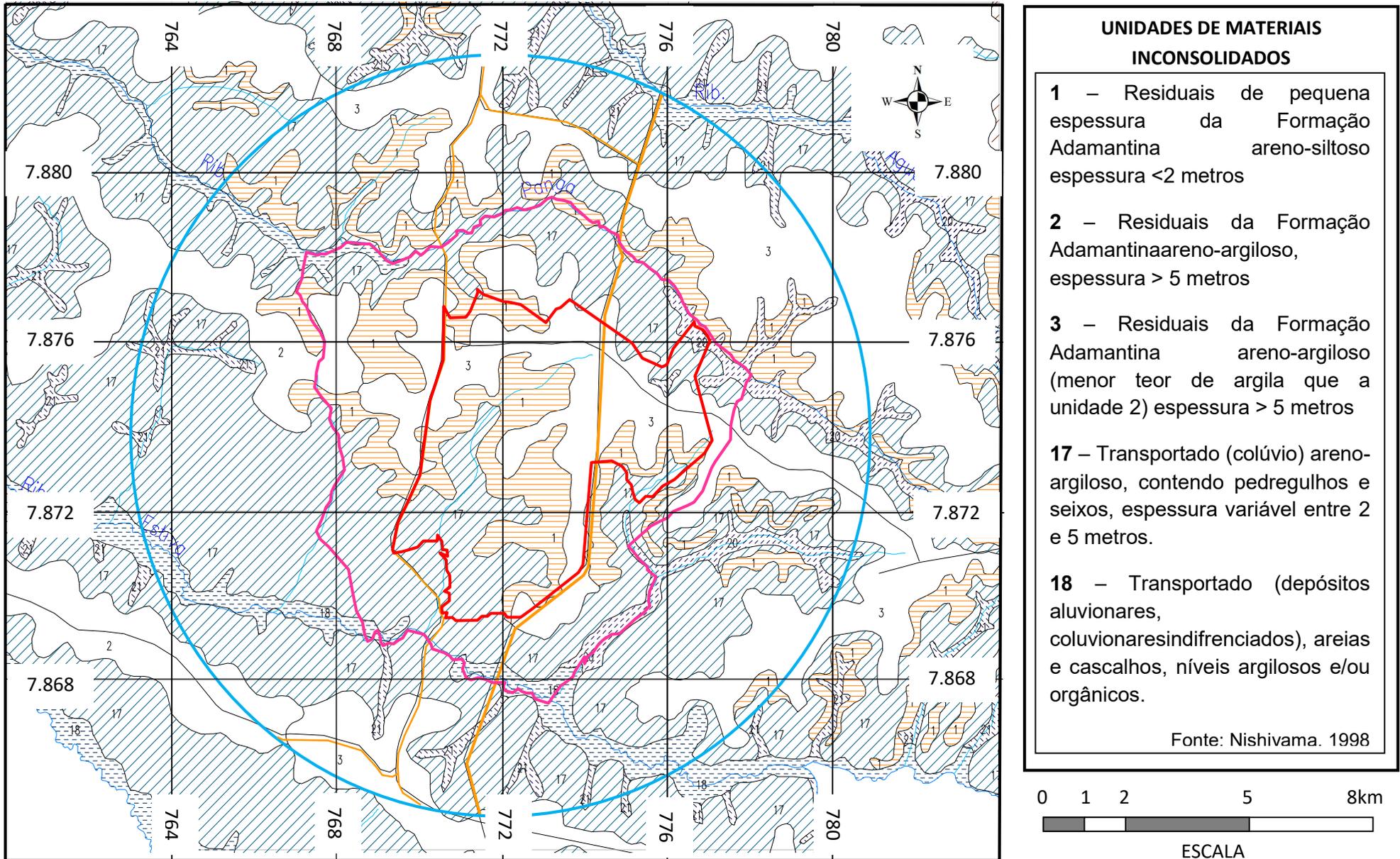
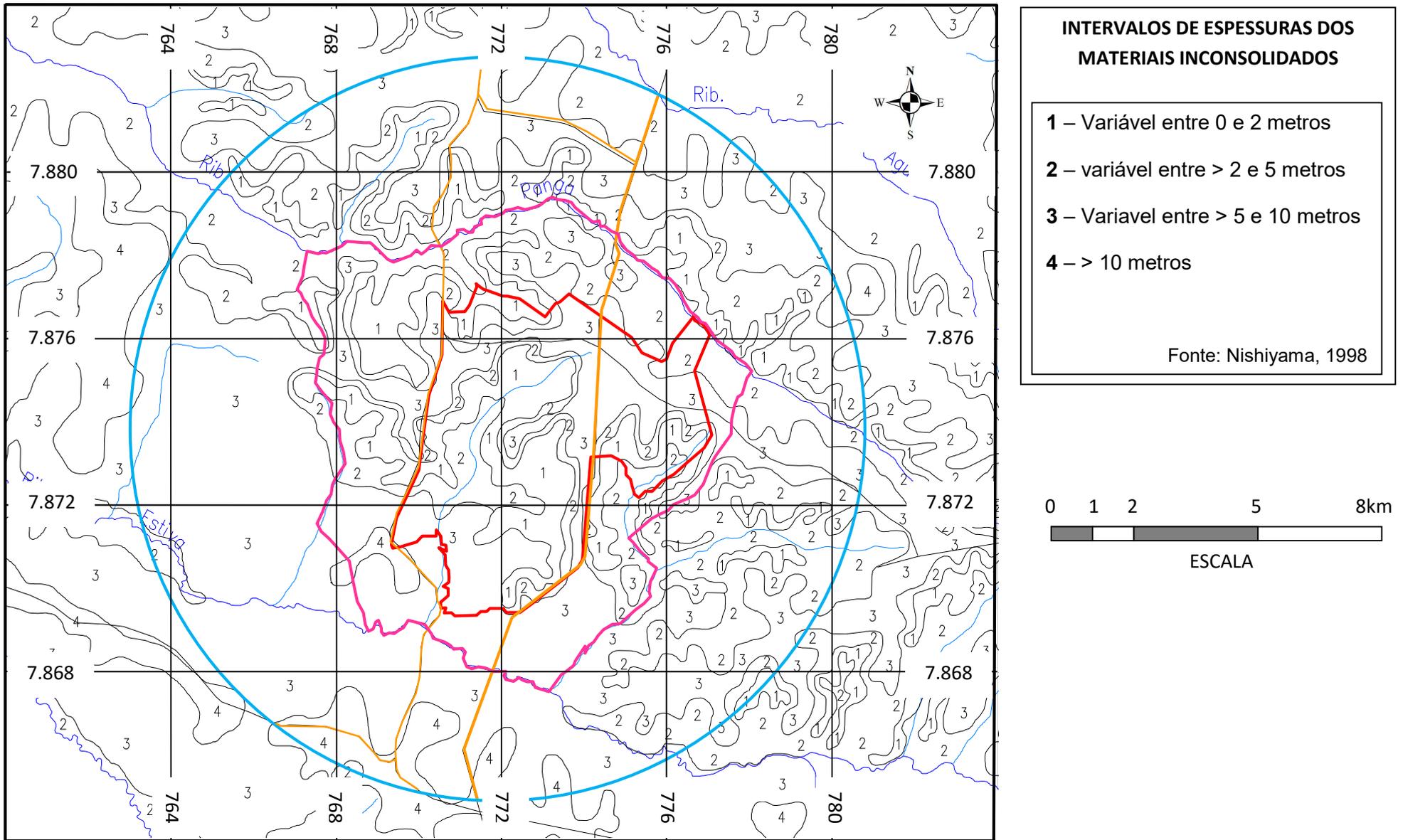


Figura 7.3.1-2 – Espessuras dos materiais inconsolidados na AID e ADA do empreendimento. Fonte: Nishiyama, (1988), modificado.



### 7.3.2 – UNIDADE 2 - Residuais da Formação Adamantina areno-argiloso, espessura > 5 metros

A unidade geotécnica Residuais da Formação Adamantina espessuras acima de 5 metros (UNIDADE 2) ocorre em todos os setores oeste e sudoeste do município de Uberlândia ocupando, principalmente, as porções elevadas dos divisores dos cursos d'água.

Conforme se observa nos mapas dos materiais inconsolidados e das espessuras apresentados nas Figuras precedentes 7.3.1-1 e 7.3.1-2, esta unidades se encontra presente nas porções planas dos divisores de bacias dos rios Estiva e Panga na AID e ADA do empreendimento, onde podem atingir valores próximos de 10 metros (Figura 7.3.2 -1).

Figura 7.3.2-1 - Residuais da Formação Adamantina areno-argiloso, espessura > 5 metros presentes nas porções de relevo mais suave (divisor de águas e encosta).



As menores espessuras podem ser observadas, sobretudo, próxima ao limite dos divisores hidrográficos com as encostas dos vales fluviais, onde as declividades são maiores.

Ensaio de laboratório e *in situ* realizados por Nishiyama (1998) sobre os materiais residuais da Formação Adamantina evidenciaram os seguintes valores (TABELA 7.3.2-1):

TABELA 7.3.2-1 - Resultados de ensaios realizados sobre materiais inconsolidados residuais da Formação Adamantina Arenoso-argiloso.

$\gamma_d$	$\gamma_s$	e	n	CTC	SE	IB	granulometria (%)			
$\text{g/cm}^3$ máx/min	$\text{g/cm}^3$ máx/min	máx/min	máx/min	meq/100g máx/mín	$\text{m}^2/\text{g}$ máx/min	$\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ máx/min	máx/mín.			
							p	ar	si	ag
1,712/	3,13/	1,529/	0,605/	2,11/	16.51/	233,0/	-	76,5/	23,7/	54,7/

1,131	2,68	0,709	0,414	0,70	5,50	37,3	-	25,7	5,0	15,0
-------	------	-------	-------	------	------	------	---	------	-----	------

$\gamma_d$  = massa específica seca de campo  
 $\gamma_s$  = massa específica dos sólidos  
e = índice de vazios  
n = porosidade  
ar = areia

CTC = Capacidade de troca catiônica  
SE = Superfície Específica  
IB = Infiltração básica  
si = silte  
ag = argila

### 7.3.3 – UNIDADE 3 - Residuais da Formação Adamantina areno-argiloso (menor teor de argila que a unidade 2) espessura > 5 metros

Originados da decomposição de litologias arenosas da Formação Adamantina, os residuais arenoso-argilosos (UNIDADE 3) ocorrem desde o sul da malha urbana de Uberlândia até o limite meridional do município, passando pelas áreas de influência do empreendimento.

De maneira semelhante aos materiais residuais arenoso-argilosos da Unidade 2, ocupam as porções de topo dos divisores de águas. No entanto, a UNIDADE 3 se diferencia da Unidade 2 por apresentar maior porcentagem de fração areia em detrimento a porcentagem da fração argila. Tal aspecto textural apresentado pela unidade em questão resulta na formação de extensos depósitos de areia nos leitos de estradas não pavimentadas, situação que não é observada na Unidade 2 (Figura 7.3.3 – 1).

Figura 7.3.3-1 - Residuais da Formação Adamantina areno-argiloso (menor teor de argila que a unidade 2) espessura > 5 metros.



Ensaio de laboratório e *in situ* realizados por Nishiyama (1998) sobre amostras da unidade resultaram nos valores apresentados na TABELA 7.3.3-1.

TABELA 7.3.3-1 - Resultados de ensaios de laboratório de geotecnia realizados sobre materiais inconsolidados residuais da Formação Adamantina – areno-argiloso

$\gamma_d$	$\gamma_s$	e	n	CTC	SE	IB	granulometria (%)			
g/cm <sup>3</sup> máx/min	g/cm <sup>3</sup> máx/min	máx/min	máx/min	meq/100g máx/mín	m <sup>2</sup> /g máx/min	mm.h <sup>-1</sup> máx/min	máx/mín.			
							p	ar	si	ag
1,624/ 1,132	3,05/ 2,67	1,562/ 0,719	0,609/ 0,418	4,95/ 0,70	31,19/ 5,50	202,9/ 42,4	- -	78,0/ 43,0	20,0/ 3,5	42,0/ 16,0

$\gamma_d$  = massa específica seca de campo  
 $\gamma_s$  = massa específica dos sólidos  
 e = índice de vazios  
 n = porosidade  
 ar = areia

CTC = Capacidade de troca catiônica  
 SE = Superfície Específica  
 IB = Infiltração básica  
 si = silte  
 ag = argila

### 7.3.4 – UNIDADE 17 - Transportado (colúvio) areno-argiloso, contendo pedregulhos e seixos, espessura variável entre 2 e 5 metros.

Esta unidade apresenta ampla distribuição espacial no município de Uberlândia, principalmente nas suas porções sul e sudoeste, associada às encostas de vales fluviais dos principais drenagens daqueles setores do município.

Resultam do transporte de materiais residuais da formação Adamantina (UNIDADES 1, 2 e 3) presentes em níveis topográficos mais elevados e da deposição dos sedimentos produzidos ao longo das encostas fluviais, especialmente a jusante da UNIDADE 1, onde forma uma espécie de rampa coluvial, conforme ilustrado esquematicamente na Figura 7.3.4-1 e na Figura 7.3.4-1, a seguir:

Figura 7.3.4-1 – Seção de encosta típica da AID e ADA do empreendimento e as unidades geotécnicas presentes.

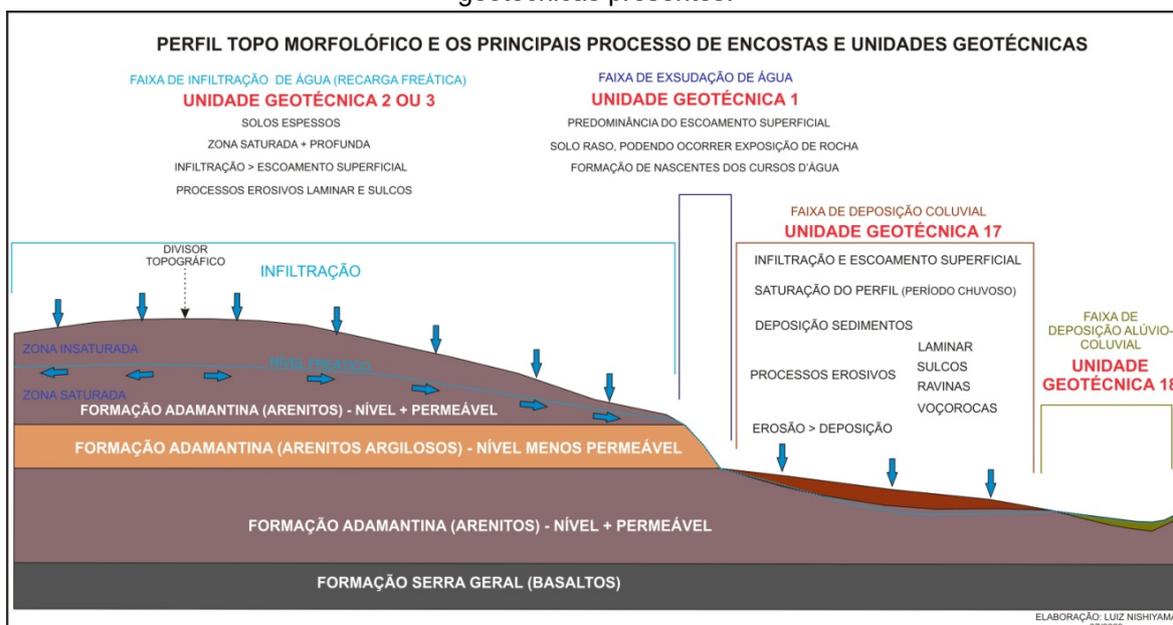


Figura 7.3.4-1 - Transportado (colúvio) areno-argiloso, contendo pedregulhos e seixos, espessura variável entre 2 e 5 metros.



A UNIDADE 17 foi gerada por processos de transporte e deposição coluvial, o que torna os materiais dessa unidade susceptíveis ao desenvolvimento de processos erosivos acelerados, tais como: sulcos, ravinas e, mais raramente voçorocas.

A composição textural identificada em ensaios de granulometria conjunta e demais resultados de ensaios realizados por Nishiyama (1998) evidenciaram os seguintes valores (Tabela 7.3.4-1):

Tabela 7.3.4-1 - Resultados de ensaios laboratoriais e *in situ* obtidos para a unidade Transportado (colúvio) areno-argiloso, contendo pedregulhos e seixos, espessura variável entre 2 e 5 metros.

$\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup> máx/min	$\gamma_s$ g/cm <sup>3</sup> máx/min	e máx/min	n máx/min	CTC meq/100g máx/mín	SE m <sup>2</sup> /g máx/mín	IB mm.h <sup>-1</sup>	granulometria (%)			
							p	ar	si	ag
1,574/ 1,009	3,18/ 2,72	2,152/ 0,829	0,683/ 0,453	8,65/ 0,94	67,58/ 7,34	528,0/ 26,8	-	77,5/ 36,0	21,0/ 4,5	33,0/ 10,0

$\gamma_d$  = massa específica seca de campo  
 $\gamma_s$  = massa específica dos sólidos  
 e = índice de vazios  
 n = porosidade  
 ar = areia

CTC = Capacidade de troca catiônica  
 SE = Superfície Específica  
 IB = Infiltração básica  
 si = silte  
 ag = argila

### 7.3.5 - UNIDADE 18 - depósitos aluvionares, coluvionares indiferenciados, com ou sem camadas orgânicas

Caracterizam-se como materiais retrabalhados formados pela associação de materiais inconsolidados de deposição fluvial (alúvio) e materiais destacados das encostas pela ação das águas pluviais e depositados junto à planície aluvial (colúvio).

De uma maneira geral, sedimentos transportados ao longo das encostas, ao atingirem a superfície de baixa inclinação da planície fluvial, ali se depositam. Quando isto ocorre, podem recobrir os depósitos aluviais pré-existentes ou então ser recobertas por deposições fluviais. Associações de materiais inconsolidados, de origens distintas, tornam difícil a separação em nível de superfície.

Texturalmente, materiais da unidade apresentam algumas diferenças: enquanto os materiais de origem coluvial mostram-se mais uniformes nos perfis constituídos predominantemente da fração areia, os materiais de origem aluvial exibem seixos associados a uma matriz arenosa. Lentes de materiais argilosos resultante da deposição aluvial e camadas orgânicas também podem ser observadas. Porém, um fato é comum e marcante nos dois tipos de depósitos: o desenvolvimento de feições hidromórficas.

Materiais transportados com características de aluviões típicos podem ser identificados na planície fluvial do rio EstivaEstes são formados basicamente de areias e seixos, com intercalações de lentes de materiais argilosos e, mais raramente, orgânicos (Figura 7.3.5-1). Os seixos são predominantemente de quartzito e quartzo.

Valores de espessuras mais frequentes da unidade geotécnica “depósitos aluviais, coluviais indiferenciados, com ou sem camadas orgânicas” se situam no intervalo de 2 a 5 metros.

Figura 7.3.5-1 – Sedimentos alúvio-coluviais típicos com sinais de hidromorfia presentes na planície fluvial do córrego Santa Maria, formados basicamente de areias e materiais argilosos.



#### **7.4 - PROFUNDIDADE DA ZONA SATURADA FREÁTICA NA AID DO EMPREENDIMENTO**

A profundidade da zona saturada freática (NA) na AID do empreendimento, segundo Nishiyama (1988), oscila entre zero e 20 metros. As maiores profundidades estão associadas às maiores cotas altimétricas, nos divisores de bacia ou próximos destes. Tende ao decréscimo rumo aos canais fluviais onde predomina o limite inferior do intervalo, conforme pode ser notado no mapa da Figura 7.4-1.

Ao analisar o mapa da Figura 7.4-1, a classe profundidade menor que 2 metros ocupa preferencialmente as faixas marginais aos cursos d'água, tanto na AID quanto na ADA, estendendo-se desde as confluências com o canal principal (Estiva ou Panga) até as nascentes.

Esta mesma classe também ocorre em nível de encostas dos vales fluviais. A pequena profundidade do NA se dá em razão da presença de camadas menos permeáveis, as quais impedem a percolação da água infiltrada nas porções superiores do relevo, o que causa a exsudação da água em trechos das encostas (Figuras 7.4-2, 7.4-3 e 7.4-4).

A classe no intervalo de profundidade entre >2 e 5 metros predomina em termos de área ocupada na AID e ADA do empreendimento. Ocorre em todos os níveis topográficos da encosta, desde as porções de cotas altimétricas inferiores até os divisores de águas dos rios Estiva e Panga. A explicação possível para a ampla distribuição desta classe de pequena profundidade do NA se deve à presença de camadas de arenito pouco permeável da Formação Adamantina em subsuperfície, o que mantém o lençol freático suspenso. As nascentes posicionadas em cotas altimétricas próximas também explicam a ocorrência desta classe (Figura 7.4-5).

A classe de intervalo de profundidade do NA entre >5 e 10 metros tem ocorrência em áreas restritas na AID e ADA do empreendimento. Em geral ocupa porções de divisores de águas dos córregos afluentes dos rios Estiva e do Panga ou na porção de divisor de bacias destes rios.

Da mesma forma que a classe precedente, a classe de profundidade no intervalo entre >10 e 20 metros encontra-se presente, na AID e ADA do empreendimento, ocupando o divisor de águas das bacias dos rios Estiva e Panga, nas porções de maiores cotas altimétricas, geralmente acima de 830 metros.

A classe de profundidade > 20 metros não ocorre nas áreas de influência do empreendimento.

Figura 7.4-1 – Mapa das profundidades da zona freática na AID do empreendimento. Fonte: Nishiyama, (1988), modificado.

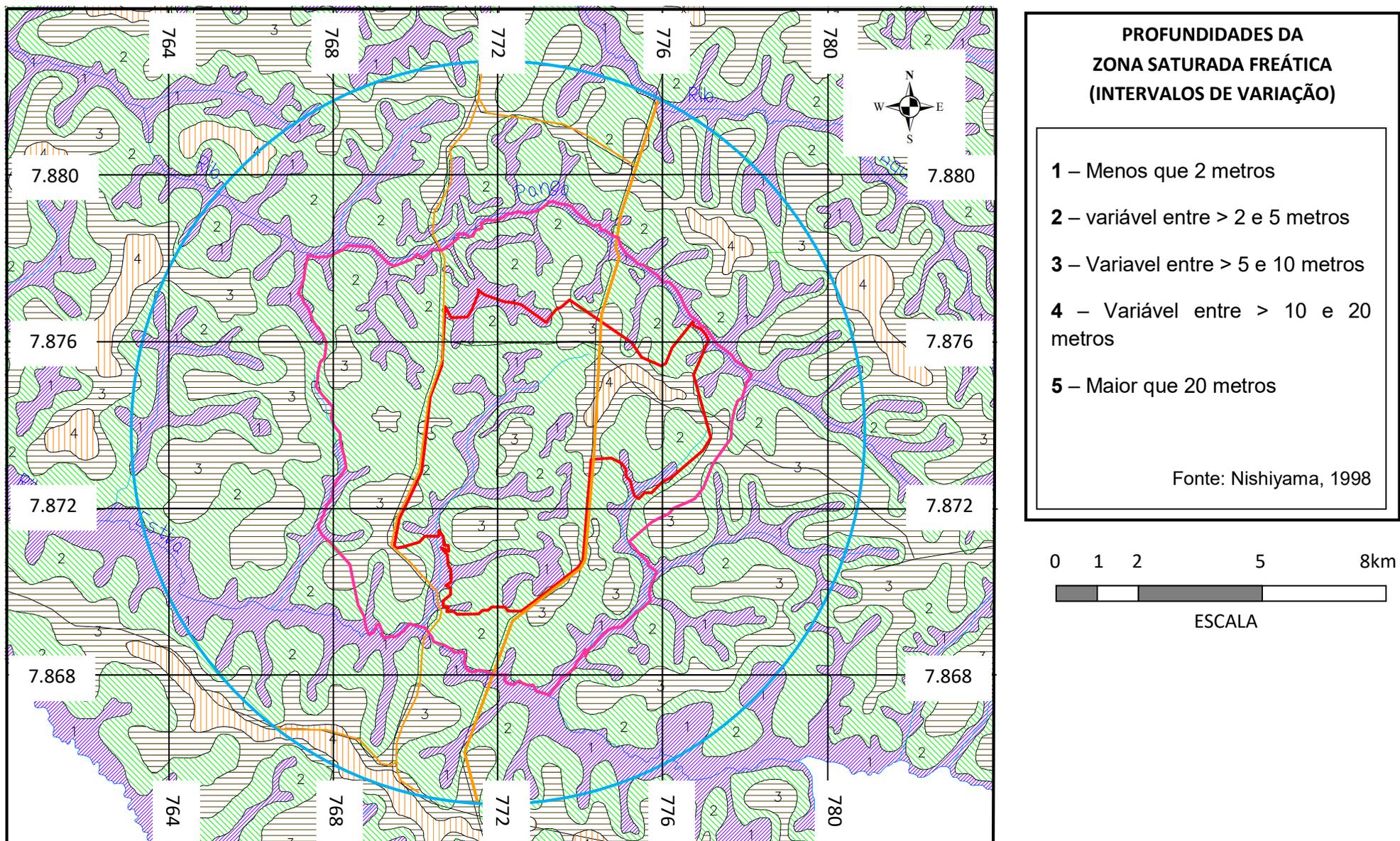


Figura 7.4-2 – Faixa de saturação hídrica em porção elevada de encosta e razão da presença de um nível de arenito pouco permeável (arenito argiloso ou com cimentação carbonática).



Figura 7.4-3 – Detalhe da faixa de saturação hídrica em porção elevada de encosta e razão da presença de um nível de arenito pouco permeável (arenito argiloso ou com cimentação carbonática).



Figura 7.4-4 – NA observado em uma escavação de 1,5 metro.



7.4-5 – Porção de ocorrência de NA > 2,0 e 5,0 metros de profundidade.



7.4-6 – Porção de ocorrência de NA > 5,0 e 10,0 metros de profundidade.



7.4-7 – Porção de ocorrência de NA >10,0 metros de profundidade.



## **7.5 - AVALIAÇÃO DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA**

A ADA do empreendimento é caracterizada por apresentar um relevo pouco movimentado nas porções de divisores de bacias hidrográficas dos rios Estiva e Panga, com declividades oscilando entre 2 e 4%.

Já, no sentido das encostas dos vales fluviais a declividade do terreno sofre um significativo aumento, com amplitude entre as porções mais elevadas e o seu limite com a planície fluvial do rio Estiva, é da ordem de 105 metros. Especialmente no terço superior e médio das vertentes dos vales fluviais, a declividade é significativamente mais elevada, porém, raramente ultrapassa a inclinação máxima de 15%.

Já, na porção de fundo vale, a declividade tende ao decréscimo, onde os valores são inferiores a 4%, com a média em torno de 2%.

Um aspecto marcante da AID e ADA do empreendimento é a ocorrência de arenitos e lamitos da Formação Adamantina recobertos por materiais inconsolidados areno-argilosos derivados dos litotipos desta formação. Dada a sua composição textural, com teores de fração areia oscilando entre o máximo de 78% e o mínimo de 25,7%, as coberturas inconsolidadas apresentam elevados coeficientes de permeabilidade (k), em geral com as ordens de grandeza que variam entre  $10^{-3}$  e  $10^{-2}$  cm/s.

A composição essencialmente arenosa dos materiais inconsolidados presentes na AID e, por extensão na ADA do empreendimento, determina uma elevada susceptibilidade a erosão pela ação de águas pluviais, especialmente quando ocorrem condições para a sua concentração na superfície do terreno e, desse modo, pode resultar na formação de sulcos que, por sua vez, podem evoluir para ravinas e, eventualmente, atingir estágio de voçoroca.

Em levantamentos realizados com uso de imagens aéreas de 1964 (USAF) e 1979 (IBC/GERCA) foi possível identificar feições erosivas, do tipo voçoroca, presentes na área há mais de 60 anos (Figura 7..5-1).

Imagens de satélites atuais (2023) mostram que as feições erosivas sofreram uma significativa redução em número de ocorrência ao longo do tempo. Em grande parte isto se deve à passagem da pecuária extensiva para a agricultura mecanizada a partir das décadas de 1980/1990. Com essa mudança na forma de uso e ocupação do solo, técnicas de manejo e conservação do solo passaram a ser implementadas nas áreas agricultadas, como o terraceamento em nível e o plantio direto, além da própria cobertura

vegetal que proporciona uma proteção adicional ao solo contra o impacto das gotas de chuva (*rainsplashes*).

Figura 7.5-1 – Fotografia aérea obtida pela Força Aérea dos Estados Unidos em 1964 mostra erosões que estavam ativas há cerca de 60 anos na AID e ADA do empreendimento e ainda observadas nos dias atuais, porém, já estabilizadas .



A redução de focos de erosão pode ser confirmada ao se comparar imagens de satélites às imagens aéreas antigas e, posteriormente, nos levantamentos de campo realizados em agosto de 2023, abrangendo a AID e ADA do empreendimento.

Cicatrizes de voçorocas antigas, as quais estavam ativas há cerca de 60 anos, podem ser observadas nos dias atuais. Na Figura 7.5-2 encontram-se representadas as feições erosivas identificadas nas fotografias aéreas de 1964.

Mesmo com a implementação de técnicas de conservação do solo, o pisoteio contínuo pelo gado bovino em solo arenoso causa a deterioração dos camalhões em nível e, conseqüentemente, o seu rompimento em eventos de chuvas mais intensas em áreas de pastagem.

Escoamento de águas pluviais em lençol produz erosão laminar mesmo em superfícies com declividade moderada. Também se observa o escoamento laminar entre as feições erosivas lineares do tipo sulcos (*interrill erosion*), o que potencializa a ação dessas formas de erosão acelerada do solo.

Os processos erosivos promovem a remoção e transporte de grande volume de sedimentos, sobretudo em áreas utilizadas para pastagens. Parte da carga sedimentar mobilizada pelas formas erosivas é depositada na porção de fundo de vale, as quais correspondem às áreas hidricamente saturadas e às planícies de inundação. A outra parte que chega ao canal fluvial incrementa a carga sedimentar, que pode ser levada para locais distantes ou depositada na própria planície de inundação nos eventos de cheias (transbordamentos).

Em parte da planície de inundação dos rios Estiva e Panga, onde o sistema fluvial meandrante predomina, podem ser identificados processos fluviais que resultam na instabilização de suas margens. Via de regra, os sedimentos depositados nas suas planícies de inundação apresentam características texturais predominantemente arenosas e muito friáveis, conforme já ilustradas na Figura 7.5-2 precedente. Tais características favorecem ao desenvolvimento da erosão fluvial, solapamentos e quedas de margem. Todos esses processos em conjunto, promovem a migração lateral do canal fluvial e abandono de parte deste, formado os chamados meandros abandonados.



Caso haja uma interferência humana neste ambiente fluvial, esta acelera os processos naturais que incorrem em impactos ambientais. Dentre os impactos possíveis na AID/ADA do empreendimento podem se citar: aumento da carga sedimentar; aumento da turbidez da água; alargamento e diminuição da profundidade do canal fluvial; destruição da vegetação ciliar; redução da vazão fluvial além do normal, especialmente no período seco do ano.

Por ocasião da elaboração do presente Diagnóstico do Meio Físico, foi verificada a existência de um reservatório *offstream* recém construído, parcialmente escavado em solo e alteamento executado com solo de escavação compactado (Figura 7.5-3 a 7.5-6).

Figura 7.5-3 – Tanque (piscinão) para armazenamento de água parcialmente escavado e alteado com aterro de solo compactado existente na ADA do empreendimento.



Figura 7.5-4 – Aterro do tanque (piscinão) parcialmente escavado e alteado com aterro de solo compactado existente na ADA do empreendimento – vista para oeste.



Figura 7.5-5 – Vista parcial do aterro compactado do tanque parcialmente escavado (piscinão) existente na ADA do empreendimento.



Figura 7.5-6 – Vista parcial da crista do aterro compactado do reservatório de água escavado (piscinão) existente na ADA do empreendimento.



Informações advindas dos levantamentos geológico, geomorfológico, pedológico e geotécnico, permitiram avaliar a estrutura quanto ao seu grau de risco a ruptura e a previsibilidade de impactos ambientais decorrentes desse tipo de evento.

O aspecto físico mais importante a ser considerado na análise da estabilidade do tanque existente tem relação com o tipo de solo utilizado para a sua construção, especialmente do aterro compactado. Trata-se de solo muito arenoso residual de arenitos da Formação Adamantina, com predominância da fração areia (fina e muito fina), com cerca de 75% de areia, 15% de silte e 10% de argila. Solos arenosos com

quantidade considerável de areia e silte quando compactado apresentam elevada resistência ao cisalhamento, porém, mostram elevados índices de vazios ( $e$ ) e porosidade ( $\eta$ ), além de baixa resistência a erosão.

Dentre os impactos socioambientais de extrema importância previsíveis decorrentes de um possível rompimento do reservatório e consequente formação de uma torrente de lama associada a restos vegetais, estão: danos materiais (edificações e infraestrutura) no distrito de Miraporanga localizado a uma distância de 3,5 km a jusante da estrutura (Figuras 7.5-7 e 7.5-8), danos vereda dos córregos, destruição de *habitats*, desaparecimento de espécies da fauna e flora, assoreamento de fundo de vale, redução de vazão dos córregos assoreados e perda da qualidade da água.

7.5-7 – Distrito de Miraporanga visto de local próximo da ponte sobre o córrego Santa Maria.



7.5-8 – Distrito de Miraporanga visto da ponte sobre o córrego Santa Maria.



A Tabela 7.5-1, a seguir, apresenta uma síntese dos possíveis impactos ambientais decorrentes das atividades e infraestruturas existentes nos diferentes setores da AID/ADA influenciados pelas atividades antrópicas.

Tabela 7.5-1 – Possíveis Impactos ambientais decorrentes dos processos/atividades que ocorrem na AID/ADA, influenciados pelas características naturais dos terrenos e catalisadas pelas atividades antrópicas.

Setor da AID e ADA	Principais usos do solo	Processos	Probabilidade de desenvolvimento de feições ou efeitos resultantes	Fatores condicionadores ou atenuadores (naturais e antrópicos)	Possíveis Impactos sócioambientais (diretos e indiretos)
Divisores de bacias	Pastagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão laminar (MP)</li> <li>• Sulcos erosivos (MP)</li> <li>• Ravinas (PP)</li> <li>• Voçoroca (I)</li> </ul>	Solo arenoso (+) Pisoteio gado (+) Declividade baixa (-) Manejo inadequado (+) Solo profundo (-) N.A freático profundo (-)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda de solo</li> <li>• Perda da qualidade da água por incremento de sólidos em suspensão (sedimentos)</li> </ul>
	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão laminar (MP)</li> <li>• Sulcos erosivos (MP)</li> <li>• Ravinas (PP)</li> <li>• Voçoroca (I)</li> </ul>	Solo arenoso (+) Declividade baixa (-) Manejo adequado (-) Solo profundo (-) N.A freático profundo (-)	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltração de contaminantes químicos e orgânicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminação da água freática (PP)</li> </ul>	Solo arenoso (+) Declividade baixa (+) Manejo adequado (-) Solo profundo (-)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda da qualidade da água freática por incremento de contaminantes químicos e orgânicos</li> </ul>

				N.A freático profundo (-)	
	Tanque parcialmente escavado (piscinão)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltração de água do reservatório no talude do aterro.</li> <li>• <i>Piping</i></li> <li>• Infiltração das águas pluviais no maciço de terra do aterro.</li> <li>• Erosão no talude do aterro.</li> <li>• Ruptura de talude.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruptura do talude do aterro compactado</li> <li>• Erosão de grande área atingida pela água reservada.</li> <li>• Erosão do fundo de vales fluviais e arrastamento de grande quantidade de materiais (sedimentos, matéria orgânica/turfa restos vegetais)</li> <li>• Formação de torrente composta de sedimentos, restos vegetais.</li> <li>• Reflexo direto sobre grande parte do distrito de Miraporanga situada a 3,5 km a jusante do reservatório.</li> <li>• Aumento da carga sedimentar no rio Estiva, com reflexo na qualidade da água.</li> <li>• Reflexo direto na vegetação de vereda ao longo da passagem da torrente.</li> <li>• Reflexo direto na fauna local (aquática e terrestre).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltração da água do reservatório sob pressão hidráulica no talude compactado em razão de perfuração ou ruptura da geomembrada de PEAD, com consequente desenvolvimento do processo de <i>piping</i>.</li> <li>• Infiltração de águas pluviais pela face externa e crista do talude.</li> <li>• Tanto a infiltração de água do reservatório quanto das águas pluviais (chuvas contínuas) pode acarretar na ruptura hidráulica do aterro.</li> <li>• Solo de construção do aterro com ampla predominância da fração areia (areia média, fina e muito fina) com teores estimados entre 60 e 80% desta fração.</li> <li>• Excessiva permeabilidade do</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda de camada fértil de solo.</li> <li>• Exposição do substrato rochoso</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destruição de habitats.</li> </ul>	aterro compactado.	
Encostas Terço superior Terço médio Terço inferior	Pastagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão laminar (MP)</li> <li>• Sulcos erosivos (MP)</li> <li>• Ravinas (P)</li> <li>• Voçoroca (PP)</li> </ul>	<p>Solo arenoso (+)</p> <p>Pisoteio gado (+)</p> <p>Declividade elevada (+)</p> <p>Manejo inadequado (-)</p> <p>Solo raso (+)</p> <p>N.A freático raso (+)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda de solo</li> <li>• Redução da oferta de água nas nascentes e áreas úmidas</li> <li>• Perda da qualidade da água por incremento de sólidos em suspensão</li> </ul>
	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão laminar (MP)</li> <li>• Sulcos erosivos (MP)</li> <li>• Ravinas (PP)</li> <li>• Voçoroca (I)</li> </ul>	<p>Solo arenoso (+)</p> <p>Declividade elevada (+)</p> <p>Manejo adequado (-)</p> <p>Solo raso (+)</p> <p>N.A freático raso (+)</p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltração de contaminantes químicos e orgânicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminação da água freática (P)</li> </ul>	<p>Solo arenoso (+)</p> <p>Declividade elevada (+)</p> <p>Manejo adequado (-)</p> <p>Solo raso (+)</p> <p>N.A freático raso (+)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda da qualidade da água freática por incremento de contaminantes químicos e orgânicos</li> </ul>
	Tanque parcialmente escavado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torrente de lama formada pela possível ruptura do</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoção de espessa camada de solo arenoso</li> </ul>	<p>possível ruptura do talude compactado do tanque.</p> <p>Solo arenoso de elevada</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda da camada fértil do solo</li> <li>• Perda de vidas humanas;</li> <li>• Destruição de habitats e/ou</li> </ul>

	(piscinão) Agricultura Vias de acesso	talude compactado do tanque	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exposição do substrato rochoso</li> </ul>	erodibilidade.	<p>nichos ecológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Perda de patrimônio privado e público.</li> <li>Perda de patrimônio cultural.</li> <li>Perda de qualidade da água</li> </ul>
Contato encosta (terço inferior) com o fundo de vale	Pastagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosão laminar (MP)</li> <li>Sulcos erosivos (P)</li> <li>Ravinas (PP)</li> <li>Voçoroca (I)</li> </ul>	<p>Solo arenoso (+)</p> <p>Pisoteio gado (+)</p> <p>Declividade moderada (+)</p> <p>Manejo inadequado (+)</p> <p>Solo raso (+)</p> <p>N.A freático raso (+)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perda de solo</li> <li>Redução da oferta de água nas nascentes e áreas úmidas</li> <li>Perda da qualidade da água por incremento de sólidos em suspensão</li> </ul>
	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosão laminar (MP)</li> <li>Sulcos erosivos (P)</li> <li>Ravinas (I)</li> <li>Voçoroca (I)</li> </ul>	<p>Solo arenoso (+)</p> <p>Declividade moderada (+)</p> <p>Manejo adequado (-)</p> <p>Solo raso (+)</p> <p>N.A freático raso (+)</p>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Infiltração de contaminantes químicos e orgânicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contaminação da água freática (P)</li> </ul>	<p>Solo arenoso (+)</p> <p>Declividade moderada (+)</p> <p>Manejo adequado (-)</p> <p>Solo raso (+)</p>

				N.A freático raso (+)	
	Agricultura/APP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torrente de lama formada pela possível ruptura tanque parcialmente escavado (piscinão)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoção de espessa camada de solo arenoso</li> <li>• Supressão de parte das veredas.</li> <li>• Deposição de espessa camada de sedimentos + matéria orgânica vegetal.</li> </ul>	<p>Solo arenoso de elevada erodibilidade (terço inferior da encosta)</p> <p>Solos saturados de fundo de vales fluviais</p> <p>Baixa resistência mecânica dos materiais constitutivos do fundo de vales (sedimentos e matéria orgânica vegetal)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda da camada fértil do solo</li> <li>• Perda de vidas humanas;</li> <li>• Destruição de habitats e/ou nichos ecológicos</li> <li>• Perda de espécies nativas da flora e fauna</li> <li>• Perda de patrimônio privado e público.</li> <li>• Perda de patrimônio cultural.</li> <li>• Perda de qualidade da água</li> </ul>
	Pastagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deposição</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coluvial (P)</li> </ul>	<p>Solo arenoso (+)</p> <p>Pisoteio gado (+)</p> <p>Declividade moderada (+)</p> <p>Manejo inadequado (+)</p> <p>Solo raso (+)</p> <p>N.A freático raso (+)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da oferta de água nas nascentes e áreas úmidas</li> <li>• Perda da qualidade da água por incremento de sólidos em suspensão</li> </ul>
	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deposição</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coluvial (P)</li> </ul>	<p>Solo arenoso (+)</p> <p>Declividade moderada (+)</p> <p>Manejo adequado (-)</p> <p>Solo raso (+)</p> <p>N.A freático raso (+)</p>	

Planície de inundação	APP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torrente de lama formada pela possível ruptura tanque parcialmente escavado (piscinão)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoção de espessa camada de solo arenoso</li> <li>• Deposição de espessa camada de materiais arrastados (sedimentos e matéria orgânica vegetal)</li> <li>• Assoreamento de canais fluviais</li> <li>• Mudança no traçado do canal fluvial.</li> <li>• soterramento de vegetação nativa.</li> <li>• Queda de margens em canais obstruídos por detritos arrastados</li> </ul>	<p>Fragilidade ambiental dos fundos de vales dos canais fluviais.</p> <p>Presença de grande quantidade de vegetação nativa</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda da camada fértil do solo</li> <li>• Perda de vidas humanas;</li> <li>• Destruição de habitats e/ou nichos ecológicos</li> <li>• Perda de patrimônio privado e público.</li> <li>• Perda de patrimônio cultural.</li> <li>• Perda de qualidade da água</li> <li>• Perda de espécies nativas da flora e fauna</li> </ul>
	APP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão de margem fluvial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Migração do canal (P)</li> <li>• Assoreamento de canal (P)</li> </ul>	<p>Aumento de vazão fluvial (+)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda de solo</li> <li>• Redução da oferta de água fluvial</li> <li>• Perda da qualidade da água por incremento de sólidos em suspensão</li> </ul>
	APP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deposição</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Migração do canal (P)</li> <li>• Assoreamento de canal (P)</li> </ul>	<p>Aumento da vazão fluvial (+)</p> <p>Aumento da carga sedimentar (+)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da oferta de água fluvial</li> <li>• Perda da qualidade da água por incremento de sólidos em suspensão</li> </ul>
	APP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solapamento de margem fluvial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Migração do canal (P)</li> <li>• Assoreamento de canal</li> </ul>	<p>Aumento da vazão fluvial (+)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda de solo</li> <li>• Redução da oferta de água fluvial</li> </ul>

			(P)	Aumento da carga sedimentar (+)	• Perda da qualidade da água
	APP	• Queda de bloco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Migração do canal (P)</li> <li>• Assoreamento de canal (P)</li> </ul>	Aumento da vazão fluvial (+) Aumento da carga sedimentar (+)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda de solo</li> <li>• Redução da oferta de água fluvial</li> <li>• Perda da qualidade da água por incremento de sólidos em suspensão</li> </ul>

(MP) ocorrência muito provável; (P) ocorrência provável ; (PP) ocorrência pouco provável; (I) ocorrência improvável ; (+) fator condicionador; (-) fator atenuador

## 7.6 – CONCLUSÃO

Durante os levantamentos de campo não foram observadas feições erosivas aceleradas do tipo ravinas e voçorocas ativas na ADA do empreendimento, exceto cicatrizes de erosões antigas estabilizadas, inclusive já colonizadas por vegetação de porte arbóreo no seu interior.

Ao interpretar imagens aéreas antigas obtidas pela USAF (1964) e IBC-GERCA (1979), e imagens de satélites recentes percebe-se, de imediato, que as feições erosivas comuns no passado das áreas de influência do empreendimento, já se encontram estabilizadas. O que significa que as ações de manejo e conservação de solo que vêm sendo adotadas, tanto na ADA quanto na AID tem contribuído de forma eficaz para a redução da erosão de solo.

Especificamente na ADA, o plantio de cana-de-açúcar com aplicação controlada de vinhaça, tem contribuído para a estabilização do solo arenoso com formação de agregados pela matéria orgânica, o que contribui de maneira significativa para a redução de processos erosivos. Soma-se a isto, a manutenção da palhada da cana após o seu corte também tem auxiliado no processo de estabilização do solo, nesse caso, pelo incremento de matéria orgânica vegetal.

Com base na interpretação de imagens de satélites e nas observações de campo pode-se afirmar que o empreendimento implementa técnicas adequadas de conservação do solo e manutenção periódica das estruturas de contenção das águas pluviais de escoamento superficial (terraceamento em nível).

Aliado ao manejo adequado do solo, que inclui cuidados na sua conservação, o uso do solo para cultivo da cana-de-açúcar constitui um fator importante para a redução significativa dos processos erosivos, uma vez que, no início do período chuvoso do ano a cobertura vegetal representada pela cana-de-açúcar já se encontra em pleno desenvolvimento, portanto suficiente para prover uma proteção do solo contra a ação erosiva das águas pluviais.

As vias de acesso existentes na ADA recebem também cuidados contínuos, com construção de camalhões em nível integrados às áreas cultivadas, com vistas a reduzir ao máximo o escoamento superficial.

No entanto, ações adicionais devem ser adotadas, tais como: inspeção, a cada período que antecede o plantio, dos cordões em nível e proceder a sua reforma em caso de necessidade; construção de bacia de retenção e infiltração de águas pluviais ao longo das vias de acesso.

Processos erosivos não representam causas de maior preocupação como causa de impactos ambientais na ADA do empreendimento e, por consequência na AID como um todo.

Em termos geotécnicos e socioambientais, a maior preocupação reside numa estrutura construída para armazenamento de água a ser utilizada em irrigação por sistema de pivô central: um tanque recém-construído, com escavação parcial do solo complementado com alteamento em solo compactado constituindo um aterro que, em sua porção de maior altura, supera 15 metros, inclinação do talude de aproximadamente 1H:1V e largura da crista de 5,0 metros.

O uso de solo muito arenoso para a construção do aterro, com teor de areia entre 60 e 80%, representa uma condição pouco favorável para uma estrutura desse tipo em termos de estabilidade. Em razão de a estrutura já se encontrar finalizada, aspectos geotécnicos devem ser considerados na avaliação de estabilidade da estrutura:

1. Risco de vazamento através da geomembrana em furos, falhas na vulcanização de emendas ou por ruptura;
2. No caso de vazamento deve-se considerar seriamente a ocorrência de *piping* que traduzido significa criação de vazios subterrâneos no aterro por erosão interna, que nesse caso, ocorre em condição de elevada pressão da água (poro pressão). Paralelamente, os dutos escavados pela erosão interna tendem a aumentar com o tempo aumentando, conseqüentemente o fluxo de água;
3. A infiltração das águas pluviais tanto no talude de jusante (não revestido) quanto pela crista. Em eventos de precipitações de maior duração (chuvas contínuas) a água infiltrada pode reduzir consideravelmente a resistência do maciço de terra.
4. Em função do tipo de solo (arenoso) utilizado para a construção do aterro, é esperada uma elevada permeabilidade do maciço de terra, a qual pode promover a sua saturação;
5. Taludes elevados, acima de 3 metros, sem bancadas (bermas) pode ter resistência a ruptura diminuída, agravada por infiltração da água da chuva ou possível infiltração da água do reservatório;
6. Os efeitos ambientais em caso de ruptura estão descritos no subitem 7.5 e Tabela 7.5-1.
7. Em caso de uma possível ruptura dessa estrutura, os impactos socioambientais podem representar perdas de vidas humanas, materiais, ambientais com implicação na fauna, flora, solos e águas, e socioculturais para esta porção do município de Uberlândia.

8. Tendo estas questões levantadas, torna-se imprescindível a implementação de medidas preventivas, tais como: monitoramento periódico da estrutura; revestimento da crista com materiais menos permeável e erodível, drenos de superfície para captação direcionamento de águas pluviais (na crista e bancadas), plano de operação de reservatório (controle de nível para o período seco e chuvoso) e, principalmente, um plano de emergência tendo em vista que o distrito de Miraporanga se localiza a cerca de 3,5 km a jusante.

Por fim, ressalta-se a importância de o empreendimento realizar a inspeção periódica das estruturas do barramento principal no curso do córrego Santa Maria, cuja área inundada é de 18,90 ha, uma vez que o distrito de Miraporanga se localiza a cerca de 3.500 metros a jusante.

### **7.7 – Referências consultadas**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL – ABGE. **Métodos para a descrição quantitativa de descontinuidades em Maciços Rochosos**. ABG/CBMR. São Paulo, 1983, 132p.

BATEZELLI, A. **Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes**. 183 f. Tese (doutorado). Pós – Graduação em Geociências Área de Concentração em Geologia Regional. UNESP – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

BECKER, M. & DALPONTE, J.C. 1990. Rastros de mamíferos silvestres brasileiros. 2ª ed. Universidade de Brasília, Brasília (DF).

BERTOL, G. A. **Avaliação da recarga anual no aquífero Bauru no município de Araguari, Minas Gerais**. 2007. 111 f. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geologia. Instituto de Geociências, UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais.

CERRI, Leandro. E. S.; AMARAL, C. P. **Riscos Geológicos**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (eds.) Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS – CODEMIG; SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Mapa geológico do Estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000**. 2003. Disponível em: <<http://www.codemig.com.br/uploads/mapag.pdf>> acesso em 05 de maio de 2022.

CORSI, A. C. **Compartimentação morfoestrutural da região do Triângulo Mineiro (MG): aplicado a exploração de recursos hídricos subterrâneos**. 2013. 231 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

MARANESI, D. A. **Avaliação Geoambiental em Áreas de Cerrado no Triângulo Mineiro para Implantação de Pequenos Reservatórios Superficiais de Água:**

**Aplicação na Folha de Tupaciguara, MG (1:100.000).Tese (Doutorado)** Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista (UNESP) Campus Rio Claro-SP. 2002. 163 f.

NISHIYAMA, L. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000: aplicação no município de Uberlândia -MG.** (Tese de Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, 1998.

NOVAIS, G. T. **Caracterização climática da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do entorno da Serra da Canastra (MG).** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011, p. 175. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/1195>>. Acesso em: 08/2022.

PEDROSA, A. de S.; SOUZA, R.de C. M. de **As unidades de paisagem no Triângulo Mineiro desaparecimento da paisagem cerrado.** Alfenas: I Simpósio Mineiro de Geografia Física. Alfenas maio de 2014.

QUEIROZ, M.L. 2015. **Nascentes, Veredas e Áreas Úmidas. Revisão Conceitual e Metodologia de Caracterização e Determinação: Estudo de Caso na Estação Ecológica de Águas Emendadas - Distrito Federal.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 161p.

RADAM BRASIL **Levantamento de Recursos Naturais.** Rio de Janeiro (RJ), Folha SE, 22. Goiânia, v.31, 1983.

RAMOS, M.V.V. 2004. **Caracterização dos solos, da estrutura fitossociológica e do estado nutricional da vegetação de veredas em diferentes superfícies geomorfológicas no Triângulo Mineiro.** Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília.

RAMOS, M.V.V.; CURY, N.; MOTA, P.E.F.; VITORINO, A.C.T.; FERREIRA, M.N. & SILVA, M.L.N. 2006. **Veredas do Triângulo Mineiro: Solos, água e uso.** Ciência Agrotécnica 30(2): 283-293.

RESENDE et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** 4.ed. Viçosa: Neput, 2002. Pp. 237-257.

RODRIGUES, L.; NISHIYAMA, L. **Estudo dos fatores responsáveis pela erosão acelerada na bacia do córrego dos Macacos – Uberlândia-MG.** VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia-GO, 2001.

SANCHES, L.E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos –** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, A.R. dos **Geologia de Engenharia –** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Carta hidogeológica do Brasil ao milionésimo -** Folha SE 23 – Belo Horizonte, 2015.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo -** Folha SE 23 – Belo Horizonte, 2004.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Sistema Aquífero**

**Bauru–Caiuá no Estado de Minas Gerais. Bacia Sedimentar do Paraná.** Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012. 35 p, il. v.13.

SILVA, G.A. da. **Mapeamento e caracterização do meio físico como indicativo de susceptibilidade erosiva na bacia hidrográfica do ribeirão São Lourenço – Ituiutaba/MG.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geografia - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2014.

TUNDISI E MATSUMURA-TUNDISI **Recursos Hídricos no Século XXI.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 328p.

TUNDISI & MATSUMURA TUNDISI **As múltiplas dimensões da crise hídrica.** São Paulo: Revista USP nº 106, p. 21 – 30, 2015.

UFV – CETEC – UFLA - FEAM. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>> Acesso em: 18 de junho de 2016.

UNDP - United Nations Development Programmes. **Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development.** UNDP, 2004. Disponível em: <http://www.undp.org/bcpr>. Acesso em: 15 Set. 2022.