



MEMORANDO TÉCNICO

"ATENDIMENTO ÀS REQUISIÇÕES DA NOTA TÉCNICA CT-GRSA 06/2018"



FUNDAÇÃO
renova

Março de 2019

SUMÁRIO

1. Introdução	3
2. Metodologia e critérios de projeto	3
2.1. Tempo de Retorno	3
2.2. Determinação das Vazões de Projeto	4
2.3. Chuvas Intensas	5
2.4. Vazões de Projeto	6
2.5. Estudos Hidráulicos.....	7
2.5.1. Estruturas C-ITS03, C-CA03, PM-CA03 e DE-CA03.....	7
2.5.2. Estruturas BU-ITS02, BU-ITS03 e BU-ITS05	9
3. dados e resultados.....	9
3.1. ITS02	9
3.1.1. Histórico.....	10
3.1.2. Situação Atual	11
3.1.3. Projeto.....	13
3.2. ITS03	14
3.2.1. Histórico.....	15
3.2.2. Situação Atual	16
3.2.3. Projeto.....	18
3.3. ITS05	19
3.3.1. Histórico.....	20
3.3.2. Situação atual	21
3.3.3. Projeto.....	24
3.4. Cânion Trecho 3	25
3.4.1. Histórico.....	25
3.4.2. Situação atual	26
3.4.3. Projeto.....	26
4. Referências Bibliográficas	28

Anexo A - Desenhos

1. Introdução

A partir da análise do documento “VOLUME 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos nos Trechos 1 a 4” elaborado considerando as diretrizes estabelecidas na Nota Técnica IBAMA/SISEMA/IEMA nº 002/2017, e após vistorias em campo realizadas por técnicos do IBAMA e SEMAD em 09/07/2018 e 08/08/2018, a Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental (CT-GRSA) apresentou a Nota Técnica CT-GRSA nº 06/2018. O presente memorando trata-se do atendimento à “Requisição 04” e “Requisição 06”.

O objetivo desse documento é apresentar os projetos de recuperação para os seguintes pontos localizados nas bacias dos córregos Santarém e Mirandinha:

- Tributário ITS02;
- Tributário ITS03;
- Tributário ITS05;
- Cânion do Trecho 3.

Os projetos foram desenvolvidos com base nas informações relatadas no documento “Relatório Preliminar de Atendimento às Requisições da Nota Técnica CT-GRSA 06/2018 Nascentes, Tributários, Cânions e Encostas - Trecho 1 ao 4 do Plano de Manejo de Rejeitos – PMR_RT-060_159-515-2282”, elaborado pela Golder (2019).

2. Metodologia e critérios de projeto

2.1. Tempo de Retorno

Os tempos de retorno (TR) adotados para o dimensionamento dos dispositivos de drenagens foram os seguintes:

- TR de 1,01 ano: para o dimensionamento de bueiros, considerando o funcionamento como canal;
- TR de 10 anos: para o dimensionamento de bueiros, considerando o funcionamento como orifício;

- TR de 25 anos: para o dimensionamento de dispositivos de drenagem superficial de acessos e descidas d'água.

2.2. Determinação das Vazões de Projeto

As vazões de projeto para dimensionamento dos dispositivos do sistema de drenagem superficial foram calculadas pelo método Racional. Esse método define as vazões de pico associadas a eventos pluviométricos de certa duração e recorrência, conforme a seguinte equação:

$$Q_p = \frac{C \cdot i \cdot A}{360}$$

Na qual,

- Q_p é a vazão de pico (m^3/s);
- C é a coeficiente de escoamento;
- i é a intensidade da precipitação (mm/h) associada a uma certa duração e recorrência;
- A é a área de drenagem (ha).

Para áreas de drenagem superiores à $1,0 \text{ km}^2$, foi adotado o método Racional modificado, em que se multiplica a vazão obtida pelo método Racional pelo coeficiente retardo sugerido por Pinheiro (2011), apresentado a seguir:

$$Q_{RETARDO} = \frac{1}{\sqrt[n]{A}}$$

Na qual,

- n depende da declividade do talvegue principal e varia de 4 a 6. Para todos os casos foi considerado $n = 4$ (declividades até 0,5 %);
- A é a área de drenagem (km^2).

Uma das premissas consideradas pelo método Racional é de que o pico da vazão ocorre quando toda a bacia estiver contribuindo para o escoamento, ou seja, a duração crítica é igual ao tempo de concentração.

O tempo de concentração (t_c), por sua vez, foi calculado pela combinação dos métodos de Kirpich para as áreas em terreno natural, utilizando a declividade equivalente do talvegue principal, e método Cinemático nos trechos correspondentes aos dispositivos de drenagem, cursos d'água e platôs das estruturas.

2.3. Chuvas Intensas

Os quantis de precipitação diária máxima considerados foram obtidos do documento “Estudos Hidrológicos e Dimensionamentos Hidráulicos - RT-E10-118_159-515-2282 / G006900-C-1RT148” (GOLDER, 2017), para a Série Sintética – Fazenda Água Limpa Jusante (Código ANA 2043056) e Colégio Caraça (Código ANA 2043059).

Os quantis de precipitação associados a diferentes tempos de retorno e durações iguais ou inferiores a 24 h, podem ser visualizados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Quantis de Precipitação para durações de 5 min a 24 h – Valores em (mm).

Duração (minutos)	Tempo de Retorno (anos)							
	1,01	2,33	5	10	25	50	100	200
5	61,2	120,8	146,8	168,0	194,8	214,7	234,4	254,0
10	52,6	103,7	126,0	144,2	167,2	184,3	201,2	218,1
15	44,8	88,3	107,3	122,8	142,4	156,9	171,3	185,7
20	39,1	77,1	93,7	107,3	124,4	137,0	149,6	162,2
25	34,9	68,8	83,6	95,6	110,9	122,2	133,4	144,6
30	31,6	62,3	75,7	86,6	100,4	110,7	120,8	131,0
60	20,9	41,2	50,1	57,3	66,4	73,2	79,9	86,6
120	13,2	26,1	31,7	36,3	42,1	46,3	50,6	54,8
240	8,1	16,0	19,4	22,2	25,8	28,4	31,0	33,6

Duração (minutos)	Tempo de Retorno (anos)							
	1,01	2,33	5	10	25	50	100	200
360	6,0	11,9	14,4	16,5	19,1	21,1	23,0	25,0
480	4,9	9,6	11,6	13,3	15,4	17,0	18,6	20,1
600	4,1	8,1	9,8	11,2	13,0	14,4	15,7	17,0
720	3,6	7,0	8,5	9,8	11,3	12,5	13,6	14,8
840	3,2	6,2	7,6	8,7	10,1	11,1	12,1	13,1
1440	2,1	4,1	5,0	5,7	6,6	7,3	8,0	8,7

2.4. Vazões de Projeto

Como apresentado anteriormente, as vazões de projeto foram determinadas por meio da aplicação do método Racional e Racional modificado para áreas de drenagem inferiores à 1,0 km² e entre 1,0 e 10 km², respectivamente.

Os valores de precipitação foram obtidos a partir do estudo de chuvas intensas, adotando-se tempos de retorno (TR) de 1,01, 10 e 25 anos para a determinação das vazões de projeto.

O coeficiente de escoamento C descreve a porção da precipitação que contribuirá diretamente para geração do escoamento superficial. Ele engloba os efeitos de infiltração, armazenamento por retenção, evaporação, retenção e interceptação, efeitos esses que afetam a distribuição temporal e a magnitude da vazão de pico do escoamento superficial. O valor adotado (0,6) está em consonância com o praticado no dimensionamento de estruturas hidráulicas de projetos similares ao presente.

As características físicas das bacias hidrográficas contribuintes às estruturas de drenagem superficial foram obtidas a partir de informações de topografia disponíveis em arquivos disponibilizados pela Fundação Renova, sobrevoo de drone realizado pela Golder e curvas de nível do IBGE.

Nas **Tabela 2** são apresentados os parâmetros adotados e as vazões de projeto obtidas para os dispositivos de drenagem superficial de cada uma das estruturas da Fundação Renova, quais sejam:

- Bueiros (BU) nos tributários ITS02, ITS03 e ITS-05;
- Canaleta (C) no tributário ITS03 e no Cânion do trecho 3;

- Passagem molhada (PM) no Cânion do trecho 3;
- Descida de água (DE) no Cânion do trecho 3.

Tabela 2: Síntese dos Estudos Hidrológicos

Dispositivo	Área de Drenagem (km ²)	Tc (mín)	TR=1,01 anos		TR=10 anos		TR=25 anos	
			Intensidade (mm/h)	Vazão (m ³ /s)	Intensidade (mm/h)	Vazão (m ³ /s)	Intensidade (mm/h)	Vazão (m ³ /s)
BU-ITS02	1,3355	40,9	27,7	5,73	76,0	15,73	-	-
BU-ITS03	0,0704	15,1	44,6	0,52	122,5	1,44	-	-
C-ITS03	0,0139	4,5	-	-	-	-	212,1	0,49
BU-ITS05	0,2014	9,8	52,9	1,78	145,2	4,87	-	-
C-CA03	0,0783	7,2	-	-	-	-	182,7	2,38
PM-CA03	0,1614	19,6	-	-	-	-	125,8	3,38
DE-CA03	0,1614	19,6	-	-	-	-	125,8	3,38

2.5. Estudos Hidráulicos

Os estudos hidráulicos foram realizados com o objetivo de dimensionar, a partir das vazões de projeto obtidas, os dispositivos de drenagem superficial para os quatro pontos indicados.:

2.5.1. Estruturas C-ITS03, C-CA03, PM-CA03 e DE-CA03

As seções hidráulicas das estruturas C-ITS03, PM-CA03 e DE-CA03 de enrocamento e a estrutura C-CA-03 de concreto foram calculadas segundo a equação de *Manning*, admitindo-se escoamento em regime uniforme e coeficiente de rugosidade de 0,035 para as estruturas em enrocamento e 0,015 para a estrutura de concreto.

A determinação das dimensões características do enrocamento (D50) e a verificação da sua estabilidade hidráulica foi realizada segundo metodologia apresentada a seguir.

A análise do enrocamento a ser utilizado na construção das estruturas seguiu a metodologia proposta por Robinson *et al.* (1998), que analisa o escoamento em regime de escoamento gradualmente variado para definir a dimensão característica do enrocamento (D50) de forma a não proporcionar o arraste dos blocos e de detalhes geométricos.

Para verificação da estabilidade hidráulica do enrocamento utilizado nas estruturas de drenagem foi adotado o critério proposto por Annandale (2006). Segundo este critério, o enrocamento que reveste a estrutura deve possuir dimensões suficientes para suportar a potência imposta do escoamento:

$$P = \gamma \cdot R_h \cdot S_f \cdot U$$

Na qual:

- γ é o peso específico da água (9810 N/m³);
- R_h é o raio hidráulico (m);
- S_f é a declividade da linha de energia (m/m);
- U é a velocidade média de escoamento (m/s)
- P é a potência do escoamento (W/m²).

A capacidade de suporte do enrocamento é traduzida em termos quantitativos pelo índice de erodibilidade (ANNANDALE, 2006), definido para enrocamento por:

$$K = 90 \cdot D_{50}^3 \cdot \tan(\phi)$$

Na qual,

- D_{50} é o diâmetro mediano dos blocos (m);
- ϕ é o ângulo de atrito do enrocamento (°);
- K é o índice de erodibilidade da massa de enrocamento (adimensional).

A potência máxima ($P_{\text{máx}}$) que certa massa de enrocamento, caracterizada por certo diâmetro mediano e ângulo de atrito, é definida por:

$$P_{\text{máx}} = \begin{cases} 0,48 \cdot K^{0,44} & \dots\dots\dots K \leq 0,1 \\ K^{0,75} & \dots\dots\dots K > 0,1 \end{cases}$$

Por motivos práticos foi adotado o intervalo de $15,0 \text{ cm} \leq D_{50} \leq 35,0 \text{ cm}$. Quando a análise indicou valor de D_{50} superior ao limite de $35,0 \text{ cm}$, adotou-se o enrocamento argamassado de blocos com dimensões inferiores de forma que as condições de estabilidade fossem atendidas.

2.5.2. Estruturas BU-ITS02, BU-ITS03 e BU-ITS05

O dimensionamento hidráulico das estruturas BU-ITS02, BU-ITS03 e BU-ITS05 foi realizado com o auxílio do *software SisCCoH*, de domínio público, disponível no endereço eletrônico www.ehr.ufmg.br/downloads.php.

Esses bueiros foram dimensionados considerando seu funcionamento hidráulico como canal para a vazão $Q_{1,01}$ (vazão com período de retorno de 1,01 ano) e orifício, sem galgamento, para Q_{10} (vazão com período de retorno de 10 anos). Admitiu-se o coeficiente de rugosidade de 0,024 e 0,015 para as estruturas em aço corrugado e em concreto, respectivamente.

3. Dados e Resultados

3.1. ITS02

O tributário ITS02 está localizado na margem esquerda do braço do reservatório do dique S3, relativo ao córrego Santarém, conforme pode ser visualizado na **Figura 1**.



Figura 1: Localização - Tributário ITS02.

3.1.1. Histórico

- Operação Augias, fase Helios (junho de 2016): “O ponto ITS 02 (Fotos Santarem ITS02 1 a 4) corresponde ao córrego do Fraga, tributário do rio Gualaxo do Norte e localizado em área de relevo encaixado, com predomínio de fragmento de vegetação nativa. Área de refluxo de rejeito, com arranque de grande quantidade de solo e de vegetação. Formação de pontos de deposição (ilhas de rejeito). Os dutos do sistema de abastecimento foram arrancados e acumulados à montante do tributário. Num primeiro momento serviram como contenção ao avanço do refluxo, porém devem ser retirados do local uma vez que representam um obstáculo à regeneração do fragmento de vegetação nativa. Ocorrência de regeneração natural nos taludes. Não foram observadas obras de contenção, drenagem, semeadura ou técnicas de bioengenharia no local”;

- Operação Augias, fase Argos etapa IV / NOTA TÉCNICA CT-GRSA nº 06/2018 (vistoria em agosto de 2017): “À montante da estrada, formou-se um pequeno lago devido a uma área de barramento e, apesar do lago apresentar-se cristalino e com boa regeneração vegetal em suas margens, constataram-se processos erosivos e o início de ravinamento. Diante disso, foi recomendado que seja incorporada a matéria orgânica sobre o rejeito, conter os processos erosivos e evitar o carreamento para o leito do curso principal”;
- Operação Augias, fase Argos etapa VI (abril 2018): ITS02 classificado como G4. “ITS02 – Apesar de o tributário não apresentar processos erosivos severos, a equipe avaliou com insatisfatória a execução de diversas obras emergenciais, necessitando intervenções corretivas de média e alta complexidade na reconformação da linha de drenagem do tributário, retaludamento de suas margens, obras de contenção e de drenagem e nas obras de bioengenharia”.

3.1.2. Situação Atual

- O tributário é dividido em dois trechos pelo acesso que liga o dique S3 à barragem de Nova Santarém;
- A montante do acesso formou-se um lago, cujo entorno se encontra revegetado (Figura 2);
- A jusante do acesso o tributário percorre cerca de 60 metros até desaguar no reservatório do dique S3. Neste trecho existem áreas expostas nas margens do tributário. Neste trecho o canal se encontra cascalhado e a água do tributário estava cristalina no momento da visita (Figura 3);
- A abertura do atual acesso e a instalação do bueiro ocorreram no período emergencial. O bueiro consiste em um tubo metálico de 50 cm de diâmetro (Figura 4). O tubo foi instalado com uma inclinação que criou um desnível de cerca de 1,5 m entre a entrada e a saída do tubo.



Figura 2: Vista da área alagada a montante do acesso. Notar o entorno completamente vegetado.



Figura 3: Aspecto do canal no trecho a jusante do acesso.



Figura 4: Vista da área a jusante do acesso. Notar áreas expostas nas margens do tributário.

3.1.3. Projeto

Com base na avaliação de campo realizada pela equipe da Golder, foi recomendado verificar o dimensionamento do bueiro existente. Essa verificação foi realizada e concluiu que o dispositivo não atende aos requisitos mínimos hidráulicos.

Assim, foi então desenvolvido um projeto para a implantação de um novo bueiro considerando o seu funcionamento hidráulico como canal para Q1,01 (vazão com período de retorno de 1,01 anos) e como orifício, sem galgamento, para Q10 (vazão com período de retorno de 10 anos). Devido à falta de informações detalhadas disponíveis, foram consideradas as seguintes premissas:

Bueiro

- declividade de 1%;
- comprimento de 5,0m;
- altura mínima do aterro de 1,30 m sobre o bueiro, garantindo uma borda de livre de 10%;

- a implantação do bueiro deve considerar o esvaziamento do lago formado a montante. As áreas que eventualmente forem expostas por este rebaixamento devem ser revegetadas;
- conformar o canal no trecho a jusante da estrada;
- revegetar as áreas expostas nas margens do tributário a jusante do acesso;
- medidas corretivas e adaptativas durante a execução podem ser realizadas em campo conforme orientação do engenheiro de campo da Golder.

O resultado do dimensionamento hidráulico é apresentado a seguir.

Tabela 3: Resultados do dimensionamento hidráulico ITS02

Tributário	Dispositivo	Declividade	Estrutura (Pré- moldado ou in loco)	Seção Transversal		Profundidade Hidráulica (m)	
				Base – B (m)	Altura H (m)	Q1,01 (canal)	Q10 (orifício)
ITS02	BU-ITS02	1%	Bueiro Duplo Celular de Concreto	1,5	1,5	0,60	2,54

O projeto desenvolvido para o tributário ITS02 é apresentado no desenho **N010600-C-100004**.

3.2. ITS03

O tributário ITS03 está localizado na margem direita do braço do reservatório do dique S3, relativo ao córrego Mirandinha, conforme pode ser visualizado na **Figura 5**.



Figura 5: Localização - Tributário ITS03.

3.2.1. Histórico

- Operação Augias, fase Helios (junho de 2016): “O ponto ITS 03 (Fotos Santarém_ITS03 1 a 4) corresponde ao tributário córrego Mirandinha, com área localizada em planície de inundação. Área de refluxo de rejeito, com arranque de grande quantidade de solo e de vegetação, referente ao braço de S3. Observadas áreas com semeadura direta no rejeito com o mix de gramíneas e leguminosas, embora insuficiente. Não foram observadas obras de contenção, drenagem, semeadura ou técnicas de bioengenharia no local”;
- Operação Augias, fase Argos etapa IV / NOTA TÉCNICA CT-GRSA nº 06/2018 (vistoria em agosto de 2017): “ITS03: em virtude da construção de estrada anteriormente inexistente,

recomenda-se que a drenagem, a contenção de processos erosivos e o retaludamento sejam avaliados neste sentido”;

- Operação Augias, fase Argos etapa VI (abril 2018): ITS03 classificado como G3. “ITS03 – Com base nas constatações efetuadas, verificou-se que as ações emergenciais vêm cumprindo o objetivo de estabilização do rejeito na área afetada na parte a montante e a jusante da estrada. No entanto, a falta de manutenção na estrada de acesso ao tributário vem contribuindo negativamente para a recuperação ambiental da área, pois os processos erosivos ali instalados provocam o carreamento de sedimento para o leito do tributário e seu consequente assoreamento. Além da existência de processos erosivos, a estrada instalada no local tem funcionado como barragem, impedindo o fluxo normal da água do tributário para o Rio Santarém, sendo necessária intervenção para permitir que a drenagem do terreno conduza o curso d’água à sua trajetória natural”.

3.2.2. Situação Atual

- Não foram identificados canal ou nascente no ponto ITS03 no trecho a montante da estrada principal;
- No trecho a jusante, existe um acesso secundário que foi construído na época em que foi feito desassoreamento do braço do córrego Santarém e lançamento de material no braço do córrego Mirandinha, de modo a obter-se uma melhor disposição de rejeitos/ sedimentos no reservatório do dique S3;
- A jusante do acesso, na área onde foi feito lançamento de material dragado verificou-se formação de brejo (Figura 6). O material lançado está praticamente no mesmo nível do reservatório do dique S3;
- A construção do acesso secundário seccionou uma reentrância do reservatório do dique S3, de modo que se formou uma área alagada a montante do mesmo com dimensões aproximadas 25 m x 10 m (Figura 7). Não foi identificado bueiro para permitir drenagem da área a montante do acesso;
- O acesso secundário não possui um sistema de drenagem adequado, tendo sido identificados grandes processos erosivos no local (Figura 8).



Figura 6: Área a jusante do acesso no ponto ITS03 onde foi feito lançamento de material dragado.



Figura 7: Área a montante do acesso do ponto ITS03 onde formou-se uma área alagada.



Figura 8: Processo erosivo no acesso ao ponto ITS03.

3.2.3. Projeto

Com base na avaliação de campo realizada pela equipe da Golderfoi desenvolvido um projeto para a implantação de um bueiro considerando o seu funcionamento hidráulico como canal para Q1,01 (vazão com período de retorno de 1,01 anos) e como orifício, sem galgamento, para Q10 (vazão com período de retorno de 10 anos). Para tratamento da erosão localizada no acesso foi projetada uma canaleta para Q25 (vazão com período de retorno de 25 anos) com o intuito de coletar o escoamento do acesso e conduzi-lo de forma controlada para o tributário. Devido à falta de informações detalhadas disponíveis, as seguintes premissas foram consideradas:

Bueiro

- declividade de 1%;
- comprimento de 5,0m;
- altura mínima do aterro de 0,80 m sobre a tubulação, garantindo uma borda de livre de 10%;
- a tubulação deve ser acomodada sobre o berço conforme definido em projeto.

Canaleta

- declividade de 3,4%;
- recomenda-se preenchimento das ravinas com material indicado pelo engenheiro de campo da Golder;
- revestimento em enrocamento.

Geral

- para o talude do acesso, recomenda-se reconformação, coveamento e revegetação (hidrossemeadura ou semeadura manual e implantação de biomanta);
- revegetar as áreas expostas nas margens do tributário a jusante do acesso;
- medidas corretivas e adaptativas durante a execução podem ser realizadas em campo conforme orientação do engenheiro de campo da Golder.

O resultado do dimensionamento hidráulico é apresentado a seguir.

Tabela 4: Resultados do dimensionamento hidráulico ITS03.

Tributário	Dispositivo	Declividade	Estrutura	Diâmetro (mm)	Inclinação dos Taludes	Seção Transversal		Profundidade hidráulica (m)	
						Base – B (m)	Base – B (m)	Q1,01 (canal)	Q10 (orifício)
ITS03	BU-ITS03	1%	Bueiro Simples Tubular Metálico Corrugado	800	-	-	-	0,51	1,45
	C-ITS03	3,4%	Canaleta trapezoidal de enrocamento	-	2H:1V	0,5	0,5	-	-

O projeto desenvolvido para o tributário ITS03 é apresentado no desenho **N010600-C-100005**.

3.3. ITS05

O tributário ITS05 está localizado na margem direita do braço do reservatório do dique S3, relativo ao córrego Mirandinha, conforme pode ser visualizado na **Figura 9**.



Figura 9: Localização - Tributário ITS05.

3.3.1. Histórico

- Operação Augias, fase Helios (junho de 2016): “O ponto ITS 05 (Fotos Santarém ITS05 1 a 4) localiza-se em área de planície de inundação e entorno com pastagem e vegetação nativa. Observado retaludamento e obras de contenção apenas para restabelecimento do antigo acesso principal a Bento Rodrigues (interditado). Formação de pontos de deposição (ilhas de rejeito)”;
- Operação Augias, fase Argos etapa IV / NOTA TÉCNICA CT-GRSA nº 06/2018 (vistoria em agosto de 2017): “ITS05: necessidade de contenção da erosão da estrada, com restabelecimento do talude adequado”;

- Operação Augias, fase Argos etapa VI (abril 2018): ITS05 classificado como G3 – apto a avançar para a fase de plantio de mudas vegetais nativas, concomitante com ações corretivas de média e alta complexidades; “ITS05 – A área afetada pelo rejeito encontra-se em boas condições, mesmo após intenso período chuvoso, sendo necessárias ações de pontuais de média complexidade. O talude onde localiza-se a saída d’água encontra-se afetado por ravinamento, tornando-o instável e colocando em risco a qualidade da água do tributário. Recomenda-se a manutenção do talude, com sua reconfirmação, revisão das estruturas de drenagem e contenção dos processos erosivos”.

3.3.2. Situação atual

- A área se encontra revegetada por gramíneas e espécies arbustivas (Figura 10);
- A montante do acesso o tributário possui um canal de cerca de 50 cm de largura, apresentando substrato arenoso e presença de cascalhos (Figura 11);
- A jusante do acesso o tributário não possui um canal bem definido correndo de maneira difusa sobre a planície formada por rejeitos e revegetada (Figura 12);
- Presença de rejeitos misturado com material arenoso (camada de cerca de 20 cm) na porção a jusante do acesso. No momento da vistoria, a água do tributário apresentava aspecto cristalino;
- O tributário corta o acesso através de um tubo metálico com cerca de 50 cm de diâmetro (bueiro);
- O bueiro existente aparentemente foi implantado durante obras da fase emergencial. Não foi observado berço para instalação do bueiro e na saída a jusante do acesso formou-se uma pequena queda d’água (Figura 13).



Figura 10: Aspecto geral da área do ponto ITS05.



Figura 11: Aspecto do canal do tributário ITS05 a montante do acesso.



Figura 12: Aspecto do canal do tributário ITS05 a jusante do acesso.



Figura 13: Vista de jusante do bueiro do tributário ITS05. Notar pequena queda d'água e poço formados na saída.

3.3.3. Projeto

Foi identificado, com base na avaliação de campo realizada pela equipe da Golder, que o tributário se encontra estabilizado, com boa cobertura vegetal no entorno. Ainda que o tributário tenha um canal difuso no trecho a jusante do acesso, considera-se que esta característica seria similar à existente anteriormente. O principal ponto de atenção foi a recomendação de verificar o dimensionamento do bueiro existente. Essa verificação foi realizada e concluiu que o dispositivo não atende aos requisitos mínimos hidráulicos.

Assim, foi desenvolvido um projeto para a implantação de um novo bueiro considerando o seu funcionamento hidráulico como canal para Q1,01 (vazão com período de retorno de 1,01 anos) e como orifício, sem galgamento, para Q10 (vazão com período de retorno de 10 anos). Devido à falta de informações detalhadas disponíveis, foram consideradas as seguintes premissas:

Bueiro

- declividade de 1%;
- comprimento de 5,0m;
- altura mínima do aterro de 1,35 m sobre a tubulação, garantindo uma borda de livre de 10%;
- a tubulação deve ser acomodada sobre o berço conforme definido em projeto;
- medidas corretivas e adaptativas durante a execução podem ser realizadas em campo conforme orientação do engenheiro de campo da Golder.

O resultado do dimensionamento é apresentado a seguir.

Tabela 5: Resultados do dimensionamento hidráulico.

Tributário	Dispositivo	Declividade	Estrutura	Diâmetro (mm)	Profundidade Hidráulica (m)	
					Q1,01 (canal)	Q10 (orifício)
ITS05	BU-ITS05	1%	Bueiro Duplo Tubular Metálico Corrugado	900	0,60	2,04

O projeto desenvolvido para o tributário ITS05 é apresentado no desenho **N010600-C-100006**.

3.4. Cânion Trecho 3

O Cânion, localizado no Trecho 3 do PMR e denominado Cânion T3, está localizado na margem esquerda do córrego Santarém, conforme pode ser visualizado na **Figura 14**.



Figura 14: Localização - Cânion Trecho 3.

3.4.1. Histórico

À jusante de onde se deu o rompimento da barragem de Fundão, o relevo, condicionado pela litologia do talvegue do córrego Santarém, apresenta-se, em dois trechos, com encostas rochosas escarpadas, formando cânions (ou gargantas) por onde são drenadas todas as águas produzidas na área de captação à montante.

O Cânion T3, possui uma extensão de aproximadamente 850 metros e era ocupado por vegetação de porte florestal mesmo nas porções com declividades acentuadas.

3.4.2. Situação atual

Com a passagem da onda de rejeitos, todo o solo superficial - juntamente com a vegetação de porte florestal anteriormente existente - foi removido, restando uma superfície rochosa totalmente desprovida de vegetação e com declividades que superam os 45° em algumas porções. Já nas pequenas porções remanescentes de solo superficial, é possível atualmente observar o estabelecimento de vegetação de porte herbáceo (**Figura 15**).



Figura 15: Aspecto geral do Cânion T3.

3.4.3. Projeto

Com base na avaliação de campo realizada pela equipe da Golder, foi recomendado que seja realizado o monitoramento da cobertura vegetal na área do cânion e adjacências, com vistas à identificação das espécies regenerantes e acompanhamento do desenvolvimento da sucessão a partir de indicadores

como riqueza de espécies, densidade e altura (porte) da cobertura. O principal ponto de atenção foi a recomendação do controle dos processos erosivos, que já se encontram em fase avançada.

Assim, foi desenvolvido um projeto para a implantação de um sistema de drenagem para conduzir o escoamento superficial do acesso para o pé do cânion. Esse sistema de drenagem é composto por duas canaletas (sarjetas) junto ao pé do talude que conduzem o escoamento para uma passagem molhada que transpõe o acesso e desagua em uma descida de água que lança o escoamento no terreno natural junto ao pé do cânion e ao leito do córrego Santarém. Os dispositivos de drenagem que compõe esse sistema foram dimensionados para Q25 (vazão com período de retorno de 25 anos). Devido à falta de informações detalhadas disponíveis, foram consideradas as seguintes premissas:

Sarjetas

- declividade mínima de 3,0% e máxima de 9,0%;
- considerada valeta de concreto de proteção padrão DER-MG VP-04;
- as duas sarjetas possuem a mesma seção;

Passagem molhada

- declividade mínima de 1,0%;
- revestimento de enrocamento com D50 de 350mm;
- base mínima de 6m considerando a travessia segura para carros/caminhões;

Descida de água

- declividade máxima de 40%;
- revestimento de enrocamento argamassado com D50 de 350mm;

Geral

- medidas corretivas e adaptativas durante a execução podem ser realizadas em campo conforme orientação do engenheiro de campo da Golder.

O resultado do dimensionamento hidráulico é apresentado a seguir.

Tabela 6: Resultados do dimensionamento hidráulico.

Cânion	Dispositivo	Declividade	Estrutura	Inclinação dos Taludes	Seção Transversal	
					Base – B (m)	Altura – H (m)
Cânion Trecho 3	C-CA03	mín 3% e máx 9%	Valeta de concreto de proteção	0,25H:1V	1,0	0,5
	PM-CA03	mín 1%	Passagem molhada trapezoidal	4H:1V	6,0	0,5
	DE-CA03	máx 40%	Descida d'água trapezoidal	2H:1V	3,5	0,5

O projeto desenvolvido para o Cânion Trecho 3 é apresentado no desenho **N010600-C-100008**.

4. Referências Bibliográficas

ANNANDALE, G.W. Scour Technology. Mechanics and Engineering Practice. McGraw –Hill Civil Engineering Series. 1a ed. 2006. 430p.

GOLDER. Relatório de Estudos Hidrológicos e Hidráulicos para o Projeto de Recuperação Ambiental de Tributários – Fundação Renova. Documento RT-E10-118_159-515-2282 / G006900-C-1RT148. Belo Horizonte, 2017.

GOLDER. Relatório Preliminar de Atendimento às Requisições da Nota Técnica CT-GRSA 06/2018 – Fundação Renova. Documento RT-060_159-515-2282. Belo Horizonte, 2019.

PINHEIRO, M.C. Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração. Porto Alegre: ABRH, 2011. 308p.

ROBINSON, K.M.; RICE C.E. e KADAVY, K.C. Design of Rock Chutes. Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers, v. 41, n. 3, p.621-626, 1998.

Anexo A

Desenhos